

KARINI BORGES DOS SANTOS

**ANÁLISE CINEMÁTICA DO DESEMPENHO DE ATLETAS E
PARATLETAS DE NATAÇÃO**



CURITIBA

2017

KARINI BORGES DOS SANTOS

**ANÁLISE CINEMÁTICA DO DESEMPENHO DE ATLETAS E
PARATLETAS DE NATAÇÃO**

**Tese apresentada como
requisito parcial para a obtenção
do Título de Doutor em
Educação Física do Programa
de Pós-Graduação em Educação
Física, do Setor de Ciências
Biológicas da Universidade
Federal do Paraná.**

Orientador: ANDRÉ L.F. RODACKI

Universidade Federal do Paraná
Sistema de Bibliotecas

Santos, Karini Borges dos

Análise cinemática do desempenho de atletas e paratletas de natação. /
Karini Borges dos Santos. – Curitiba, 2017.
147 f.: il. ; 30cm.

Orientador: André Luiz Félix Rodacki

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências
Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Educação Física.

1. Natação. 2. Cinematica. I. Título. II. Rodacki, André Luiz Félix. III.
Universidade Federal do Paraná. Setor de Ciências Biológicas. Programa
de Pós-Graduação em Educação Física.

CDD (20. ed.) 613.716




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
Setor CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
Programa de Pós Graduação em EDUCAÇÃO FÍSICA
Código CAPES: 40001016047P0

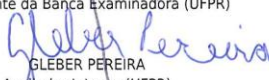
TERMO DE APROVAÇÃO

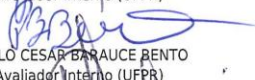
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em EDUCAÇÃO FÍSICA da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Tese de Doutorado de **KARINI BORGES DOS SANTOS**, intitulada: "**Aspectos cinemáticos determinantes do desempenho de atletas e paratletas de natação**", após terem inquirido a aluna e realizado a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.


A outorga do título de doutor está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

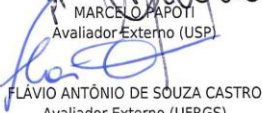
CURITIBA, 31 de julho de 2017.


ANDRÉ LUIZ FELIX RODACKI
Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


GLÉBER PEREIRA
Avaliador Interno (UFPR)


PAULO CESAR BARAUCE BENTO
Avaliador Interno (UFPR)


MARCELO PAPOTI
Avaliador Externo (USP)


FLÁVIO ANTÔNIO DE SOUZA CASTRO
Avaliador Externo (UFRGS)

Dedico este trabalho a minha mãe Arai, com eterna gratidão por todos os ensinamentos e suporte em minha formação acadêmica e humana.

Ao meu parceiro Hernani, pelo apoio e companheirismo em cada uma de minhas escolhas.

Agradecimentos

Ao meu pai Neilor e minha mãe Arai, pelos ensinamentos, princípios, valores e amparo. Também aos meus irmãos Cristiano e Keila e sobrinhas Gabriela, Alanis, Luna e Bianca. O tempo que morei no exterior em função dos estudos me fez valorizar ainda mais o convívio com vocês

Ao meu parceiro, Hernani, por todo apoio, por esperar meu retorno no período de um ano, pela paciência e encorajamento.

A Larissa pelo companheirismo desde a época da graduação, por compartilhar os momentos de alegria e desespero.

As “nerds fitness” do laboratório: Renata, Paula, Sabrine, Jerusa, Ana, Fernanda. E também aos colegas Joice, Luiza, Luana, Leilane, Susana, Natália, Roberta, Angélica, Araceli, Marcia, Jhon, Matheus e Arthur. Vocês foram mais que parceiros de laboratório, são amizades que pretendo manter.

Benny, Ana e Rayanna pela ajuda nas coletas e no trabalho braçal da pesquisa.

Ao secretário Rodrigo Waki, pela dedicação e competência.

Aos amigos da Inglaterra, em especial Angus, Alice e Kasia, vocês foram essenciais em um período da vida que estava longe de minha família. A Raisa, por sua amizade, pelos bons momentos, risos, pela ajuda com o inglês e também pelas inúmeras receitas de massa que você fez para mim. É muito bom conviver contigo novamente.

Aos novos colegas de trabalho do UNIBRASIL, sinto orgulho de fazer parte desta equipe.

Em especial, ao meu orientador, André Rodacki, que tanto colaborou com desenvolvimento desta pesquisa.

Ao professor Carl Payton, por aceitar me orientar no período de sanduiche, por todo incentivo e ensinamentos.

Ao prof. Paulo Bento e Gleber Pereira, por todos os ensinamentos e colaboração geral com o estudo.

Aos técnicos Rui, Ederley e Homero pela liberação e incentivo a pesquisa e aos atletas pela participação, boa vontade e bom-humor, mesmo quando precisavam refazer o teste.

A CAPES e CNPQ pelo apoio financeiro, por me oportunizar um período de pesquisa no exterior.

A todos os alunos e professores envolvidos no programa de pós-graduação.

RESUMO

O desempenho na natação depende da técnica para maximizar a força propulsiva e minimizar a resistência oferecida pela água. A partir de variáveis cinemáticas é possível identificar parâmetros que caracterizam nadadores de alto desempenho em relação a pares de menor desempenho e nadadores paratletas. O objetivo do estudo foi analisar parâmetros cinemáticos do nado em atletas de diferentes níveis de desempenho e paratletas de natação antes e após sustentação de estímulos de alta intensidade de nado. 21 atletas e 21 paratletas (S5-S10) de natação com idade entre 15 e 26 anos participaram de uma sessão experimental composta pelo teste: simulação máxima de 50m de nado crawl; protocolo de repetições de desempenhos máximos de 50m do nado com 10s. de intervalo pelo número de vezes que os nadadores relatassem suportar; e nova simulação de 50m máximos crawl. Os desempenhos de nado foram gravados por um sistema de seis câmeras sincronizadas, 4 localizadas dentro d'água no plano sagital do nadador (GoPro Hero 4) e duas fora d'água, em espaço previamente calibrado. Os seguintes parâmetros de nado foram avaliados: velocidade (Vel), frequência (Fbr), distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada (Dbr), índice de nado (IN), aspectos dimensionais da braçada submersa (amplitude médio-lateral - A_{M-Lbr} , amplitude antero-posterior - A_{A-Pbr} e amplitude vertical - A_{Vbr}), percentual de tempo e velocidade despendida na fase subaquática (F_{sub}) e em cada uma de suas fases (varredura para baixo - VB, para dentro - VD e para cima - VC), índice de coordenação (IdC) e variação intracíclica da velocidade (VIV). Método utilizado na mensuração cinemática apresentou alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador e aceitável acurácia. Nadadores de maior desempenho apresentaram maior Vel, Dbr, IN, A_{M-Lbr} , A_{Vbr} , Vel_{VC} e Vel_{Fsub} . Para os nadadores paratletas Vel, Dbr, IN e F_{sub} correlacionaram com as respectivas classes do sistema de classificação funcional proposto pelo Comitê Paralímpico Internacional. Atletas e paratletas foram assimétricos para A_{A-Pbr} , A_{M-Lbr} , IdC, fases da braçada e Vel_{VB} . Ao final do teste Dbr, IN e Vel do nado e em cada fase da braçada (exceto para VC) diminuíram, enquanto F_{sub} e IdC para braço dominante aumentaram. Disposição de um conjunto de variáveis que distinguem nível de proficiência, relação com classificação funcional (paratletas), simetria bilateral e alterações ocorridas com sustentação do desempenho em elevada intensidade, podem auxiliar técnicos em um melhor entendimento de fatores relacionados ao desempenho para que obtenham novas ideias no treinamento, a fim de aprimorar do desempenho, intervir sobre assimetrias e manter parâmetros mais estáveis na sustentação do desempenho de nado.

Palavras chave: natação, cinemática, paratleta, assimetria.

ABSTRACT

Swimming performance is dependent on the technique that maximizes propulsive force and minimizes propulsive drag. Kinematic variables allow parameter identification that characterize high performance swimmers in relation to lower performance and Para-swimmers. The aim of this study was to analyze kinematic parameters in swimmers of different performance levels and Para-swimmers before and after sustentation of high intensity swimming stimuli. 21 swimmers and 21 Para-swimmers (S5-S10), aged between 15 and 26 years, participated in this study, the protocol consisted of: maximum of 50m front crawl swimming; repetitions of 50m maximum swimming efforts with 10 second intervals as many time swimmers reported to be possible; and again 50m maximum front crawl swimming in fatigue condition. Performance was recorded by six synchronized cameras, 4 located within the water in the sagittal plane of the swimmer (GoPro Hero 4) and two out of water, in a previously calibrated area. The following swim parameters were evaluated: velocity (Vel), stroke rate (Fbr), stroke length (Dbr), efficiency index (IN), dimensional aspects of the submerged stroke (width – A_{M-Lbr} , length - A_{A-Pbr} and depth - A_{Vbr}), percentage of time and velocity expended underwater (Fsub) and in other phases (dowsweep - VB, insweep - VD and upsweep - VC), coordination index (IdC) and intracyclic velocity variation (VIV). Methods used in kinematic measurements showed high reproducibility, replicability and an acceptable accuracy. Higher-performing swimmers presented greater Vel, Dbr, A_{M-Lbr} , A_{Vbr} , VelVC and VelFsub. For the Para-swimmers Vel, Dbr, IN and Fsub correlated with the functional classification system proposed by the International Paralympic Committee. Swimmers and Para-swimmers were asymmetrical for A_{A-Pbr} , A_{M-Lbr} , IdC, stroke phases and VelVB. In the end of the protocol, Dbr, IN and Vel of the swim and in each phase of the stroke (except for VC) decreased, while Fsub and IdC (dominant arm) increased. In conclusion, the development of a set of variables that distinguishes proficiency level in accordance with functional classification (Para-swimmers), as well as maintaining bilateral symmetry that may occur during performance maintenance, may aid in the understanding of performance enhancement and maintain more stable parameters in sustaining swimming performance.

Keywords: Swimming, kinematics, Para-swimmers, asymmetry

LISTA DE ABREVIATURAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

A_{A-Pbr} : Amplitude antero-posterior da braçada subaquática

A_{M-Lbr} : Amplitude médio-lateral da braçada subaquática

A_{Vbr} : Amplitude vertical da braçada subaquática

Ciclos.min⁻¹: ciclos por minuto

D: Direito

Dbr: Distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas

DLT: *Direct Linear Transform* (transformação linear direta)

E: esquerdo

Fbr: Frequência de braçada

Frec: Fase recuperativa

Fsub: Fase subaquática da braçada

G_{MIT}: Grupo de maior índice técnico

G_{PIT}: Grupo de pior índice técnico

G_P: Grupo de paratletas

Hz: Hertz

ICC: *Intraclass correlation coefficient* (coeficiente de correlação intraclass)

IdC: Índice de coordenação

IN: índice de nado

IPC: Comitê Paralímpico Internacional

IS: Índice de simetria

kg: Quilograma

LI: Limite inferior

Li: Limite superior

LED: *Light emitting diode* (diodo emissor de luz)

m: metros

mm: milímetros

m.s⁻¹: metros por segundo

°C: Graus Célcios

p: Nível de significância calculado

RMS: Root mean square (raiz quadrada da média dos valores elevados ao quadrado)

s: segundos

t: correlação Tau de Kendall

Tbr: Trajetória da braçada

v: volts

VB: Entrada e varredura para baixo

VC : Varredura para cima

VD: Varredura para dentro

Vel: Velocidade de nado

Vel_mVB: Velocidade média da mão na fase de entrada e varredura para baixo

Vel_mVC: Velocidade média da mão na fase da varredura para cima

Vel_mVD: Velocidade média da mão na fase da varredura para dentro

VIV: Variação intracíclica da velocidade

V_mMsub: Velocidade média da mão na fase subaquática

x: eixo longitudinal

y: eixo médio-lateral

z: eixo vertical

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1 – QUESTIONÁRIO PARA CARACTERIZAÇÃO DA AMOSTRA E
TEMPO DO DESEMPENHO DE 50M EM CADA REPETIÇÃO DE NADO 138

ANEXO 2 – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO 139

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| FIGURA 3.1 - EXEMPLOS DE DIFERENTES CONFIGURAÇÃO E ESTRATÉGIAS PARA CAPTURA DE MOVIMENTO SUBAQUÁTICO | 22 |
| FIGURA 3.2 - REPRESENTAÇÃO DA TRAJETÓRIA TRIDIMENSIONAL DA BRAÇADA NO NADO CRAWL..... | 29 |
| FIGURA 4.1 - REPRESENTAÇÃO DO TRAJE DE NADO E MARCADORES ATIVOS..... | 63 |
| FIGURA 4.2 - GRÁFICO DO RASTREAMENTO AUTOMÁTICO DA VELOCIDADE DA PROGRESSÃO DO QUADRIL DURANTE UM CICLO DE BRAÇADA DO NADO PARA OS EIXOS X, Y E Z..... | 66 |
| FIGURA 4.3 - CONCORDÂNCIA ENTRE PROCESSAMENTOS DE RECONSTRUÇÃO DE IMAGEM MANUAL E SEMIAUTOMÁTICO | 67 |
| FIGURA 5.1 - REPRESENTAÇÃO DA ESTRUTURA DE CALIBRAGEM | 78 |
| FIGURA 5.2 - ILUSTRAÇÃO DOS LIMITES DAS FASES DA BRAÇADA. | 80 |
| FIGURA 5.3. - CORRELAÇÃO ENTRE CLASSIFICAÇÃO FUNCIONAL E PARÂMETROS DO NADO CRAWL..... | 84 |
| FIGURA 6.1 - EXEMPLO DA TRAJETÓRIA DA BRAÇADA DIREITA DE UM NADADOR COM SUAS DIVISÕES DE FASES | 97 |
| FIGURA 6.2 - REPRESENTAÇÃO DAS FASES DA BRAÇADAS ENTRE LADOS DIREITO E ESQUERDO..... | 98 |

LISTA DE TABELAS

TABELA 4.1 - REPRODUTIBILIDADE INTER E INTRA-AVALIADOR PARA AS TRAJETÓRIAS DAS BRAÇADAS DOMINANTE (D) E NÃO DOMINANTE (ND) DO NADADOR PARATLETA PARA OS EIXOS X, Y E Z63

TABELA 4.2 - REPRODUTIBILIDADE INTER E INTRA-AVALIADOR DA VELOCIDADE DE DESLOCAMENTO DO QUADRIL ENTRE OS HEMICORPOS DIREITO (D) E ESQUERDO (E) DO NADADOR PARATLETA PARA OS EIXOS X, Y E Z64

TABELA 5.1 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DO NADO ENTRE GRUPOS DE MAIOR (G_{MIT}) E PIOR (G_{PIT}) ÍNDICE TÉCNICO83

TABELA 5.2 - VALORES INDIVIDUAIS, MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS PARÂMETROS DA BRAÇADA DOS PARATLETAS.....85

TABELA 6.1 - COMPARAÇÃO DO PERCENTUAL DE ASSIMETRIAS DOS PARÂMETROS DO NADO ENTRE GRUPOS DE MAIOR (G_{MIT}) E MENOR (G_{PIT}) ÍNDICE TÉCNICO E PARATLETAS (G_P)99

TABELA 7.1 - COMPARAÇÃO DOS PARÂMETROS DO NADO ENTRE CONDIÇÕES INICIAL E FINAL PARA OS NADADORES DE MAIOR (G_{MIT}), MENOR (G_{PIT}) ÍNDICE TECNICO E PARATLETAS (G_P).....109

TABELA 7.2 - COMPARAÇÃO DAS VARIÁVEIS DE DIMENSÕES DA BRAÇADA, ÍNDICE DE COORDENAÇÃO E FASES DA BRAÇADA EM AMBOS HEMICORPOS NAS CONDIÇÕES FINAL E INICIAL PARA OS NADADORES DE MAIOR (G_{MIT}), MENOR (G_{PIT}) ÍNDICE TECNICO E PARATLETAS (G_P).....110

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO..... | 10 |
| APRESENTAÇÃO DA TESE..... | 14 |
| 2 OBJETIVOS GERAL..... | 16 |
| 2.1 Objetivos Específicos | 16 |
| 2.2 Hipóteses..... | 16 |
| 3 REVISÃO DE LITERATURA..... | 18 |
| 3.1 Análise Cinemática Tridimensional do Nado..... | 19 |
| 3.1.1 Sistema de Multicâmeras para Análise Cinemática Tridimensional Subaquática | 21 |
| 3.1.2 Reprodutibilidade Inter e Intra-avaliador e Precisão da Digitalização Manual em Análise Tridimensional Subaquática..... | 23 |
| 3.1.3 Rastreamento Automático no Processamento da Reconstrução de Imagem Cinemática..... | 24 |
| 3.2. Variáveis Cinemáticas do Desempenho do Nado..... | 25 |
| 3.2.1 Distância Percorrida pelo Corpo por Ciclo de Braçada, Frequência de Braçada e Variação Intracíclica de Velocidade..... | 30 |
| 3.3 Assimetria de Nado..... | 33 |
| 3.4 Natação Paralímpica..... | 39 |
| 3.4.1 Sistema de Classificação..... | 45 |
| 3.5 Padrão do Movimento de Nado Após Estímulos e Esforços Em Alta Intensidade no Nado..... | 49 |
| 3.6 Síntese da Revisão de Literatura..... | 57 |
| 4 ESTUDO 1 REPRODUTIBILIDADE INTER E INTRA-AVALIADOR E PRECISÃO DO RASTREAMENTO CINEMÁTICO MANUAL E SEMIAUTOMÁTICO DA TRAJETÓRIA DO NADO CRAWL EM NADADORES COM DEFICIÊNCIA..... | 58 |
| 4.1 Introdução..... | 59 |
| 4.2 Metodologia | 61 |
| 4.3 Resultados..... | 64 |
| 4.4 Discussão..... | 68 |
| 4.5 Conclusão..... | 71 |

| | |
|--|------------|
| 5 ESTUDO 2 CINEMÁTICA DO NADO DE ATLETAS COM E SEM DEFICIÊNCIA..... | 72 |
| 5.1 Introdução..... | 73 |
| 5.2 Metodologia | 76 |
| 5.3 Resultados..... | 82 |
| 5.4 Discussão..... | 86 |
| 5.5 Conclusão..... | 92 |
| 6 ESTUDO 3 SIMETRIA DA BRAÇADA EM ATLETAS E PARATLETAS DE NATAÇÃO DURANTE O NADO CRAWL..... | 93 |
| 6.1 Introdução..... | 94 |
| 6.2 Metodologia | 96 |
| 6.3 Resultados..... | 97 |
| 6.4 Discussão..... | 99 |
| 6.5 Conclusão..... | 103 |
| 7 ESTUDO 4 ASPECTOS CINEMÁTICOS APÓS REPETIÇÃO DE ESFORÇOS EM ALTA INTENSIDADE NO NADO..... | 104 |
| 7.1 Introdução..... | 105 |
| 7.2 Metodologia | 108 |
| 7.3 Resultados..... | 109 |
| 7.4 Discussão..... | 111 |
| 7.5 Conclusão..... | 116 |
| 8 SÍNTESE, CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PERSPECTIVA DE FUTUROS ESTUDOS..... | 117 |
| REFERÊNCIAS..... | 121 |
| ANEXOS..... | 137 |

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A natação é um dos esportes competitivos mais antigos e têm chamado atenção nos últimos anos pelos sucessivos progressos em campeonatos como os Jogos Olímpicos e Paralímpicos. Esses progressos são decorrentes de meios e métodos de treinamento cada vez mais baseados em estabelecer e selecionar adequadamente os estímulos relevantes para a melhoria do desempenho. De fato, em algumas provas, o investimento em pequenos detalhes pode reduzir centésimos de segundo e influenciar no resultado da competição, visto que as diferenças entre os primeiros colocados são muito pequenas (CASTRO *et al.*, 2007).

O desempenho e a velocidade do nado dependem da qualidade técnica de movimento para maximizar a aplicação de forças propulsoras e minimizar as forças resistivas (arrasto) oferecidas pela água (MAGEL, 1970; DE OLIVEIRA, 2010; FIGUEIREDO, PENDERGAST, *et al.*, 2013). Dessa forma, como regra geral, mensurações cinemáticas da execução do movimento relacionam-se intimamente com o processo de construção de resultados expressivos no âmbito da natação de alto rendimento (FIGUEIREDO *et al.*, 2013; SMITH *et al.*, 2001; TOUSSAINT *et al.*, 2006; SHARP *et al.*, 1982).

Vídeo subaquático tem sido um método eficiente empregado na determinação de variáveis cinemáticas do movimento, como por exemplo, a distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas, frequência e trajetória da braçada no nado para definição de um modelo para cálculo da variação de movimento em função do tempo e espaço (SILVATTI, 2013). Devido à complexidade de dispositivos e captura de movimentos realizados na água, sistemas de análise bidimensional têm sido empregados. Todavia, a natureza multidimensional dos movimentos realizados durante o nado, especialmente durante as ações realizadas na fase subaquática, impede que uma estimativa mais realista seja obtida (ZAÏDI *et al.*, 2010; CESERACCIU *et al.*, 2011; PUEL *et al.*, 2012). Apesar de análises que envolveram aspectos tridimensionais durante o nado terem descrito o comportamento de um conjunto de variáveis (MCCABE e SANDERS, 2012; PUEL *et al.*, 2012; FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013; OLSTAD *et al.*, 2016), estudos que

diferenciam estas variáveis entre nadadores de melhor performance de outros com desempenhos menos expressivos ainda são necessários. Em adição, não são conhecidos estudos que tenham realizado comparações similares entre atletas com deficiência físico-motora, os quais são essenciais para um melhor entendimento dos fatores associados ao desempenho.

Em competições para nadadores com deficiência física, os participantes são agrupados de acordo com sua habilidade funcional segundo o Sistema de Classificação Funcional Internacional (IPC Swimming Classification Rules and Regulations, 2011). Este sistema busca providenciar aos nadadores um ponto de partida equitativo (PELAYO *et al.*, 1999; WU e WILLIAMS, 1999; MALONE *et al.*, 2001). Todavia, existem informações limitadas em relação a parâmetros objetivos para suportar o sistema de classificação corrente (GEHLSSEN e KARPUK, 1992; OH *et al.*, 2013), o qual tem sido controverso (GEHLSSEN e KARPUK, 1992).

Nados com propulsão alternada (crawl e costas) dependem das ações individualmente geradas pelos hemicorpo direito e esquerdo, bem como da simetria entre eles. De fato, existe uma preocupação na relação entre simetria de movimentos e o desempenho de nado (DOS SANTOS *et al.*, 2013). Em atletas paralímpicos, assimetrias podem ser ainda mais acentuadas, visto os comprometimentos físicos e motores que caracterizam estes nadadores. Além disso, a capacidade de manter técnica de execução durante a competição é decisiva para o desempenho e pode ser influenciada mediante condições em que as ações do nado precisam ser sustentadas em alta intensidade durante o treinamento/competição. Assim, investigar alterações dos gestos motores durante o nado é importante para melhor compreensão na mudança da velocidade a fim de criar estratégias para o aprimoramento do desempenho. Em adição, diferenças entre os níveis de desempenho podem emergir ou se tornarem mais evidentes quando maiores demandas são solicitadas, fator primordial em análises que as mesmas tendem ser discretas.

O objetivo deste estudo foi analisar parâmetros cinemáticos do nado em atletas de diferentes níveis de desempenho e paratletas de natação antes e após sustentação de estímulos de alta intensidade de nado. A partir das variáveis cinemáticas, espera-se identificar quais parâmetros caracterizam nadadores de alto desempenho de seus pares de menor desempenho. Além

disso, o estudo visa determinar a simetria de movimento entre os hemisférios direito e esquerdo durante o nado e verificar o comportamento do gesto após estímulos de esforços em alta intensidade no nado. Dessa forma, espera-se contribuir para construção de resultados mais expressivos para o esporte de alto rendimento, visto que um conjunto de detalhes que dificilmente são analisados subjetivamente e com os meios e métodos disponíveis podem ser decisivos para a obtenção de resultados mais expressivos. Logo, o emprego de novos meios, métodos e tecnologias de inovação podem melhorar o entendimento dos fatores relacionados com o desempenho e propiciar melhores resultados de atletas e paratletas.

APRESENTAÇÃO DA TESE

Esta tese possui estrutura de oito capítulos. O primeiro capítulo apresentado foi constituído pela introdução geral, contextualização e justificativa da pesquisa. O segundo capítulo esta destinado aos objetivos e hipóteses do estudo. O capítulo III apresenta a revisão da literatura sobre os principais aspectos relacionados à análise tridimensional do nado, natação paralímpica, assimetria de nado e sustentação de performance em altas intensidades. A fim de responder os objetivos da pesquisa, quatro estudos foram organizados, de forma que os objetivos específicos do trabalho correspondem aos objetivos gerais dos estudos elaborados. O primeiro estudo (capítulo IV) foi conduzido para estabelecer a reprodutibilidade inter e intra-avaliador e precisão da mensuração cinemática do nado, a fim de testar a confiabilidade das medidas utilizadas nas comparações dos estudos subsequentes. O segundo estudo (capítulo V) foi dedicado à descrição dos parâmetros de nado, comparação de atletas de diferentes níveis de proficiência e correlação das variáveis do desempenho de paratletas com a classificação funcional de acordo com os critérios estabelecidos pelo Comitê Paralímpico Internacional. Uma vez que o estilo de nado crawl depende das ações individuais das braçadas direita e esquerda e que movimentos assimétricos podem impactar no desempenho de nado, o capítulo VI foi constituído pelo estudo da simetria da braçada dos nadadores. A capacidade de manter a técnica de execução do movimento durante o nado compreende outro fator decisivo para o desempenho e pode ser influenciado por condições em que as ações do nado precisem ser sustentadas, portanto, o último estudo (capítulo VII) avaliou as alterações cinemáticas ocorridas após estímulos de esforços em alta intensidade de nado. Finalmente, o capítulo VIII compreendeu a conclusão geral do estudo.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESES

2 OBJETIVO GERAL

Analisar parâmetros cinemáticos do nado em atletas de diferentes níveis de desempenho e paratletas de natação antes e após sustentação de estímulos de alta intensidade de nado.

2.1 Objetivos específicos

- Testar a reprodutibilidade inter e intra-avaliador da mensuração cinemática do nado crawl.
- Avaliar a precisão do sistema de mensuração subaquática.
- Investigar a reprodutibilidade inter e intra-avaliador da reconstrução semiautomática do deslocamento do corpo do nadador com utilização de marcadores de luz/LED, assim como sua comparação com processamento manual de mensuração e o tempo despendido em cada processamento.
- Comparar as características espaços-temporais da braçada entre nadadores de maior e menor proficiência a fim de determinar aspectos que caracterizam os melhores resultados.
- Descrever as variáveis de desempenho do nado de paratletas e correlaciona-las com a classificação funcional do Comitê Internacional Paralímpico.
- Avaliar a simetria do índice de coordenação temporal das fases da braçada e suas características dimensionais em atletas de diferentes níveis de proficiência e paratletas de natação
- Determinar alterações nos parâmetros de nado, coordenação da braçada e sua simetria após estímulo de esforços de nado em alta intensidade em atletas de diferentes níveis de proficiência e paratletas de natação.

2.2 Hipóteses

A hipótese geral do estudo foi de que mensurações cinemáticas são confiáveis para análise do nado, diferem segundo o nível de desempenho e

são influenciadas pelas simetrias das ações, assim como pela sustentação dos estímulos em alta intensidade.

- H₁: Reconstrução cinemática subaquática apresenta alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador da mensuração da trajetória da braçada do nado crawl.
- H₂: Alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador da reconstrução semiautomática do deslocamento do corpo do nadador e comparável resposta com processamento manual da mensuração com menor tempo para realização do processamento
- H₃: Aceitável erro de precisão da reconstrução subaquática.
- H₄: Nadadores de maior proficiência apresentam maior velocidade geral do nado e em cada uma das fases da braçada. Menor variação intracíclica de velocidade de deslocamento do quadril e frequência de braçada. Maior distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, parâmetros dimensionais, percentual de tempo despendido na fase subaquática e de índice de coordenação.
- H₅: Correlação positiva entre classificação e distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e percentual de tempo despendido na fase subaquática, com correlação negativa para a frequência de braçada.
- H₆: Existem assimetrias nas características espaços-temporais entre braçadas direita e esquerda dos nadadores.
- H₇: Paratletas apresentam os maiores índices de assimetria, enquanto os atletas de maior proficiência apresentam as características mais simétricas.
- H₈: Com o decorrer do teste, velocidade, frequência de braçada, distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e tempo despendido na fase recuperativa diminuem. Tempo despendido na fase subaquática, assimetria de parâmetros dimensionais da braçada e índice de coordenação aumentam, com alterações mais acentuadas primeiramente entre os paratletas, em seguida por nadadores de menor índice técnico e por fim, de maneira mais tênue, entre os nadadores de maior proficiência.

CAPÍTULO III
REVISÃO DE LITERATURA

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Análise cinemática tridimensional do nado

Análise cinemática tridimensional de nadadores é um problema desafiador na área da biomecânica devido às condições experimentais difíceis quanto à instalação de dispositivos e captura de movimento dentro d' água (CESERACCIU E, 2011). Entre as dificuldades da mensuração embaixo d'água pode ser citado o erro de paralaxe e turbulência que escondem os acidentes anatômicos (PAYTON *et al.*, 1999; LEE *et al.*, 2008), os procedimentos experimentais são dificultados pela refração dos raios de luz, o que reduz precisão (KWON, 1999; CESERACCIU *et al.*, 2011) e violam a condição de colinearidade fazendo com que os erros de reconstrução aumentem (GOURGOULIS *et al.*, 2008). Alternativas de filmagens através de janelas (GOURGOULIS *et al.*, 2006; HOUEL *et al.*, 2013; GOMES *et al.*, 2014), com utilização de sistema de periscópio (YANAI *et al.*, 1996; BERGER, 1999; YANAI, 2004; GOURGOULIS *et al.*, 2008; GOURGOULIS *et al.*, 2010) e impermeabilização de câmeras com caixa estanque (NIKODELIS *et al.*, 2005; SILVATTI *et al.*, 2012; DE JESUS *et al.*, 2015) tem sido utilizado.

Recentemente análise de desempenho de nado foi realizada com câmeras de captura infravermelho desenvolvida para o meio aquático (OLSTAD *et al.*, 2016), todavia, o sistema é de custo muito elevado e apenas poucos laboratórios no mundo possuem acesso a esta tecnologia. Metodologias alternativas são realizadas no ambiente seco, como a exemplo, a simulação da técnica do movimento em “banco de nado” (LEE *et al.*, 2008; EVERSHED *et al.*, 2014). Outra possibilidade para análise multidimensional do desempenhados no nado, consiste na simulação de modelos em computadores como a exemplo da dinâmica computacional dos fluidos (ZAÏDI *et al.*, 2010), a qual possibilita disposição de valores numéricos quantitativos sobre a hidrodinâmica do nado a partir de fotografia digitalizada do corpo do nadador (ARFAOUI *et al.*, 2012) e sua reconstrução geométrica (ZAÏDI *et al.*, 2010). A dinâmica computacional dos fluidos tem sido utilizada no estudo da natação principalmente em análises dos membros superiores, uma vez que estes são

os principais responsáveis pela propulsão do nado (LECRIVAIN *et al.*, 2008; MINETTI *et al.*, 2009; LECRIVAIN *et al.*, 2010; FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013; MATOS *et al.*, 2013) e são empregados em análises como: otimização da mão para o impulso (MINETTI *et al.*, 2009), espaçamento dos dedos (BILINAUSKAITE *et al.*, 2013), posição do polegar durante o nado (MARINHO *et al.*, 2009), orientação, forma e velocidade da mão (BILINAUSKAITE *et al.*, 2013) e contribuição propulsiva da parte superior do braço de nadadores amputados na altura do cotovelo (LECRIVAIN *et al.*, 2008). Todavia, esta metodologia apresenta a limitação em relação à validade ecológica dos dados (BARBOSA *et al.*, 2008). Assim, o desafio de projetar equipamentos subaquáticos de custo acessível e a falta de avaliações tridimensionais tem impedido análises mais robustas sobre os movimentos laterais em condição de nado (PUEL *et al.*, 2012).

Sistema de análise bidimensional tem sido empregado como meio de simplificar estas avaliações, porém, a mesma impede uma estimativa mais realista dos movimentos realizados na natação que requerem configuração de multicâmeras, calibradas e sincronizadas para uma análise tridimensional do movimento (FIGUEIREDO *et al.*, 2009; CESERACCIU *et al.*, 2011; PUEL *et al.*, 2012). Análises tridimensionais subaquáticas são mais realistas porque consideram os três eixos de movimento (x, y e z) (GOURGOULIS *et al.*, 2008).

O Sistema de multicâmeras para análise tridimensional é largamente utilizado em laboratórios, mas com aplicação dentro d'água limitada (SILVATTI *et al.*, 2012) devido a dificuldades sobrevindas do meio (CESERACCIU *et al.*, 2011). Sua metodologia consiste na gravação de um volume calibrado por câmeras sincronizadas geralmente por par de luzes visíveis no campo de cada câmera. Então, acidentes anatômicos são demarcados nos nadadores para a reconstrução tridimensional da imagem e assim as coordenadas definirão um modelo (PUEL *et al.*, 2012) que posteriormente são digitalizadas manualmente quadro a quadro para obtenção tridimensional do movimento (FIGUEIREDO, PENDERGAST, *et al.*, 2013; FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013).

3.1.1 Sistema de multicâmeras para análise tridimensional

Na metodologia da calibração para sistema de multicâmeras, estruturas de volume com geometria conhecida são utilizadas baseado em modelo de calibração linear (SILVATTI *et al.*, 2012). Modelos de calibração e set up que vem sendo utilizados em pesquisas cinemáticas no ambiente aquático para natação são apresentadas na figura 3.1. Procedimentos de calibração envolvem fatores intrínsecos (foco da lente, parâmetros de distorção, principais pontos, escala de pixel) e extrínsecos (locação e orientação) (SILVATTI *et al.*, 2012). Alguns cuidados na utilização deste sistema dentro d'água devem ser levados em consideração como, por exemplo: câmeras não podem ser colocadas muito perto da superfície porque onda afeta qualidade da imagem, além disso, câmaras fora d'água não são facilmente integradas com câmeras subaquáticas (CESARACCIU *et al.* 2011). O espaço calibrado deve possuir tamanho suficiente para cobrir o movimento, mas não muito superior a este, visto que grandes áreas calibradas reduzem o tamanho da imagem do nadador em relação ao volume calibrado e aumenta erro de reconstrução (GOURGOULIS *et al.*, 2008).

O método de sistema de multicâmeras para análise tridimensional na natação é geralmente aplicado para nado contínuo (crawl e costas) visto que nos outros estilos (peito e borboleta) auto-oclusão influencia reconstrução (CESARACCIU *et al.* 2011). De fato, esta abordagem permite caracterização da técnica dos nadadores e fornece informações relevantes para técnicos no desenvolvimento do desempenho de nado (BARBOSA *et al.*, 2008; DE JESUS *et al.*, 2015), contudo, a qualidade na interpretação dos dados, depende da reprodutibilidade e acurácia no processamento da digitalização manual dos marcadores que podem ser afetadas por erros provenientes da distorção, técnica subaquática de vídeos (BARBOSA *et al.*, 2008; SANDERS, GONJO, *et al.*, 2015) e da habilidade do operador em identificar os pontos demarcados (CESERACCIU *et al.*, 2011).

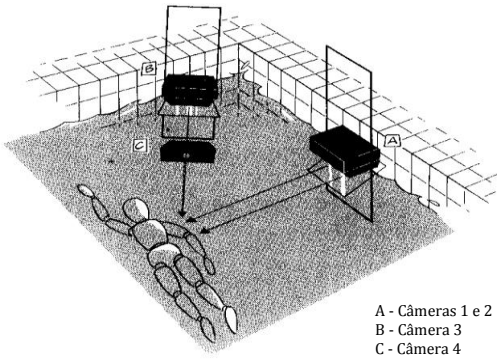
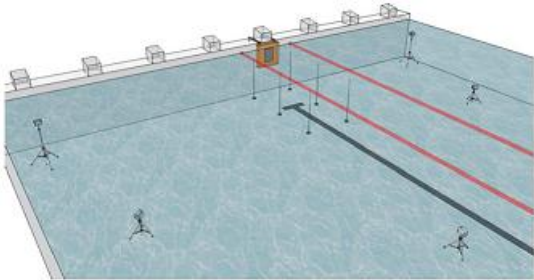
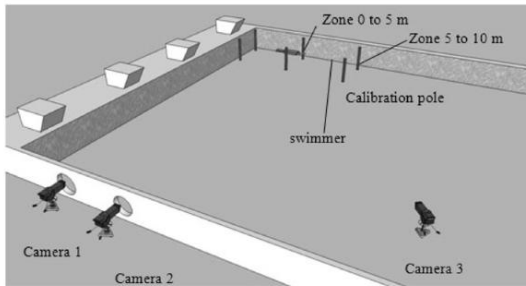
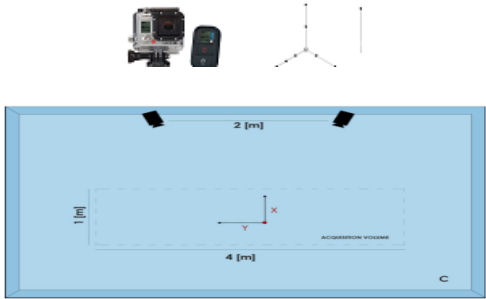

| | |
|---|---|
|  <p>A - Câmeras 1 e 2 B - Câmera 3 C - Câmera 4</p> <p>Setup com utilização de periscópio para captura da imagem (BERGER, 1999).</p> |  <p>Sistema com câmeras dentro da água protegidas por caixa estanques (PUDEL <i>et al.</i>, 2012)</p> |
|  <p>Configuração com utilização de filmagem através de janelas (HOUEL <i>et al.</i>, 2013)</p> |  <p>Setup realizado com câmeras a prova d'água (GoPro) (BERNARDINA <i>et al.</i>, 2016)</p> |
|  <p>Sistema Qualisys com câmeras infravermelho para captura de imagem (OLSTAD <i>et al.</i>, 2016)</p> | |

Figura 3.1 - Exemplos de diferentes configuração e estratégias para captura de movimento subaquático

3.1.2 Reprodutibilidade inter e intra-avaliador e precisão da digitalização manual de análise tridimensional subaquática

Segundo o “Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results” interavaliador pode ser analisada pela proximidade de concordância entre os resultados da mesma mensuração conduzida por diferentes operadores. Reprodutibilidade intra-avaliador pode ser definida pela proximidade de concordância entre resultados sucessivos medidos pelo mesmo operador. Finalmente, precisão é determinada pela proximidade de concordância entre o valor obtido como resultado da mensuração e o valor real (TAYLOR, 2009). Assim, o cálculo de erro de reconstrução cinemática geralmente é obtido pela digitalização de uma mesma imagem por diferentes operadores e repetição da digitalização por um mesmo operador.

O erro de precisão, por sua vez, pode ser acessado em condição estática ou dinâmica (SCHREVEN *et al.*, 2015). Na condição estática usualmente são utilizados pontos inseridos no sistema de calibração com posição conhecida que não servem como controle para a mesma (GOURGOULIS *et al.*, 2010; FIGUEIREDO *et al.*, 2011). Figueiredo *et al.* (2009) verificaram erro de reconstrução de medida de 1mm para os 3 eixos de coordenadas, enquanto Gourgoulis *et al.* (2010) reportaram aproximadamente 2; 5 e 3 mm para os eixos x, y e z respectivamente. Em adição, Jesus *et al.* (2015) reportaram erros entre 2 a 3mm para o volume de calibração localizado fora da água e entre 3 e 5mm para o volume localizado dentro da água. De fato, o meio onde o sistema encontra-se inserido, quantidade de pontos de controle utilizados e tamanho do espaço calibrado podem influenciar o erro reportado (GOURGOULIS *et al.*, 2008).

Em condições dinâmicas a precisão é determinada pela variação de distância entre dois pontos fixados em uma barra rígida movimentada no volume calibrado (HAGGARD e WING, 1990). Gourgoulis *et al.* (2008) apresentaram erro de precisão de 4,5 e 5,92 mm entre dois volumes distintos, enquanto Silvatti *et al.* (2012) verificaram erro de 9,72 mm com a aplicação da transformação linear direta clássica e melhor precisão com outras abordagens.

Nota-se que a precisão relatada em condição dinâmica tende a ser menor que em condição estática, todavia, considerando que o sistema de análise cinemática é utilizado para reconstrução de movimentos, o conhecimento da precisão em condições dinâmicas parece ser mais importante (SCHREVEN *et al.*, 2015). Precisão poderia ser ainda (idealmente) determinada durante o registro do movimento específico (isto é, durante o nado) ao invés da utilização de barras rígidas para um resultado mais fidedigno com a situação avaliada (SCHREVEN *et al.*, 2015).

3.1.3 Rastreamento automático para análise cinemática subaquática

A aplicação do método de reconstrução através da digitalização manual é frequentemente limitada pela alto consumo de tempo (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2009; CESERACCIU *et al.*, 2011; SOARES *et al.*, 2014; SANDERS, GONJO, *et al.*, 2015) e pela dependência da habilidade do operador em identificar os marcadores (CESERACCIU *et al.*, 2011), principalmente quando grande conjunto de dados é requerido no campo de visão da calibração (a exemplo de braçadas consecutivas), o que acarreta em imagem reduzida e marcadores difíceis de serem distinguidos (SANDERS, GONJO, *et al.*, 2015). Até o momento, Slawson *et al.* (2010) desenvolveram marcadores com luz para permitir um rastreamento automático do movimento em ambos os meios (ar e água) e sugerem validade do método para análises biomecânica (SLAWSON *et al.*, 2010). Todavia, as avaliações foram bidimensionais e compreenderam somente identificação de saídas e viradas do nado.

Schreven *et al.* (2015) utilizaram Leds para aprimorar a identificação dos marcadores durante a digitalização dos dados em estudo que objetivavam encontrar a frequência de corte ideal para a filtragem de análise tridimensional do nado (SCHREVEN *et al.*, 2015). No entanto, a luz de Led foi utilizada somente para melhorar a visualização dos marcadores e a digitalização manual foi mantida. Olstad *et al.* (2016) e Ribeiro 2016 empregaram rastreamento automático com marcadores reflexivos e sistema qualisys, desenvolvido para

análises cinemáticas no meio aquático (OLSTAD *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2016), todavia, como previamente mencionado, este sistema possui um alto custo e somente poucos laboratórios dispõem de tal tecnologia. Assim, disposição de soluções viáveis para rastreamento automático de imagens subaquáticas, continua sendo um desafio para o campo da biomecânica. A reconstrução do movimento pelo rastreamento é essencial para um melhor entendimento das variáveis cinemáticas envolvidas no desempenho do nado.

3.2 Variáveis Cinemáticas do Desempenho do Nado

Análises que envolvem aspectos tridimensionais do nado veem descrevendo o comportamento de um conjunto de variáveis do movimento. No nado crawl uma divisão entre as fases da braçada foi estabelecida no intuito de melhor compreender o movimento executado, uma vez que os membros superiores são os principais responsáveis pela propulsão do corpo no nado (FIGUEIREDO *et al.*, 2012). Neste sentido, os movimentos sinuosos realizados pelos segmentos superiores podem ser descritos pela: entrada e apoio da mão na água, varreduras de acordo com o componente de direção predominante da mão (isto é, varredura para baixo, para dentro e para cima no nado crawl) e fase aérea da braçada (MAGLISCHO, 2003). Outros autores adotam critérios e terminologias distintas para esta divisão. Segundo Chollet *et al.* (2009) a braçada do nado crawl é distinta por quatro fases: entrada e apoio da mão na água (corresponde ao período da entrada da mão na água e o início de seu movimento para trás); puxada (corresponde ao tempo que separa o início do movimento da mão para trás e sua chegada no plano vertical do ombro, constitui a primeira fase da propulsão); empurrada (período a partir da posição das mãos abaixo do ombro até sua liberação da água, constitui a segunda parte da propulsão); e fase aérea (ponto da liberação da água até a reentrada da mão na água, ou seja, fase acima da água). Para análise do padrão da braçada e do movimento como um todo dos nadadores, os quais considerem as ações realizadas tanto nas direções médio-lateral como antero-posterior, mensurações multidimensionais vêm sendo aplicadas.

Figueiredo et al. (2013) utilizaram sincronização de 6 câmeras (4 embaixo d'água e 2 acima da superfície) calibradas com volume contendo 30 pontos de calibração para reconstrução do nadador através da marcação de 21 acidentes anatômicos com o objetivo de analisar as relações entre o centro de massa e a variação da velocidade intraciclo nos 3 eixos de movimento da natação e verificaram que estes parâmetros não podem ser utilizados como preditores de performance em eventos competitivos.

Em outro estudo Figueiredo et al. (2012) empregaram a metodologia de sistema de multicâmeras para análise tridimensional na avaliação de parâmetros cinemáticos em prova de 200 metros crawl e constataram que a distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas se mantém constante nas 3 primeiras parciais e diminui na última e que frequência de braçada diminui na terceira volta. Os autores verificaram ainda que velocidade da mão proporciona boa estimativa de rendimento teórico de braçada, e que eficiência diminuiu ao longo dos 200 metros, o que indica propulsão menos eficaz no final da metragem com acúmulo de fadiga. Em condição de fadiga a frequência de braçada aumentou, distância percorrida pelo corpo durante ciclos de braçadas e eficiência diminuíram e deram origem a um aumento de custo de energia para locomoção. Somados a estes resultados, Sanders e Psycharakis (2009) relataram velocidade e distância percorrida por braçada ampliadas e frequência de braçada diminuída para primeira parcial (50 m) de uma teste de 200 metros, com redução da distância percorrida por braçada na terceira e quarta parcial, rolamento de ombro reduzido e aumento de faixa do rolamento do quadril durante parciais.

Análise 3D de perfis de coordenação espaço temporal de nadadores em teste de 200 metros demonstrou mudanças para parâmetros cinemáticos e coordenativos explicados pela fadiga com diferentes comportamentos entre a especialidade dos nadadores (velocistas e fundistas), sendo que os velocistas demonstraram coordenação mais simétrica (FIGUEIREDO, SEIFERT, *et al.*, 2012). Por outro lado, McCabe et al. (2011) não encontraram diferenças entre nadadores fundistas e velocistas para variáveis de velocidade, angulação do cotovelo, frequência e distância percorrida por braçada, com diferença apenas para a fase de tração, no qual os fundistas despenderam maior tempo de

realização em teste de 50m (MCCABE *et al.*, 2011). A falta de distinção entre as variáveis sugeriu que nadadores ajustam parâmetros de acordo com as demandas fisiológicas e hidrodinâmicas da prova e não em relação a sua especialidade. O estudo demonstrou que nadadores entram com braço na água flexionado a 14°, progressivamente a flexão aumenta para 21° na fase de captura, 72° na transição entre fases de puxar e empurrar, em seguida cai para 44° e ao fim da fase de impulso estende até 52° quando a mão sai da água. Em outro estudo, os autores compararam velocistas e fundistas em teste de 400m e apenas a velocidade diferiu entre os grupos, sendo esta mais constante no decorrer do percurso entre os fundistas (MCCABE e SANDERS, 2012).

Investigação sobre ângulo de rolamento do corpo em diferentes intensidade e condição respiratória para grupos de distintas características de nadadores (fundistas, velocistas e triatletas) demonstrou que rolamento decresce a medida que a velocidade aumenta, assim como com o bloqueio da respiração, evidenciando que característica dos nadadores, intensidade e respiração explicam a variância de rolamento de corpo no nado crawl (CASTRO *et al.*, 2007). Em adição, McCabe et al (2015) reportaram que nadadores são mais lentos quando respiram (3%), diferem o movimento em cada fase da braçada e apresentam maior rolamento de ombro na fase recuperativa durante a respiração (MCCABE *et al.*, 2015). Vezos et al. (2007) também atribuíram modificações no padrão recuperativo da braçada ao rolamento do corpo durante a respiração. Os autores ainda relataram aumento na duração da braçada, deslocamento da mão para trás e lateralmente durante a fase de varredura para baixo durante respiração. Por outro lado, o pico de velocidade da mão para trás na fase de varredura para cima e o deslocamento da mão durante a fase de empurrar foram reduzidos (VEZOS *et al.*, 2007).

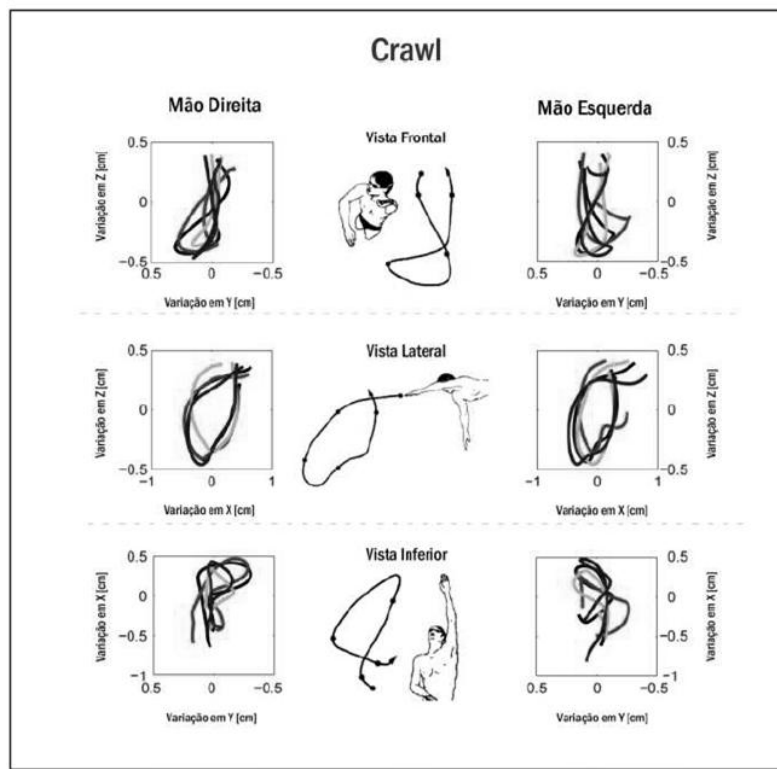
Payton et al. 1999 avaliaram o comportamento da braçada e do tronco durante execução do nado crawl com e sem a realização da respiração e verificaram padrão similar de braçada entre as condições, apesar de um maior rolamento de corpo em 8° durante o momento da respiração (57° para 66°). Amplitude médio-lateral e amplitude vertical da braçada durante execução de nado sem respiração apresentaram valores de $0,27 \pm 0,007\text{m}$ e $0,79 \pm 0,004\text{m}$ respectivamente e com a execução da respiração $0,28 \pm 0,007\text{m}$ e $0,77\text{cm} \pm$

0,003m. Estes resultados apresentam valores menores de amplitude médio-lateral e maiores de amplitude vertical em relação aos reportados por McCabe et al. 2011 para desempenho de mesma distância entre nadadores velocistas e fundistas ($0,39 \pm 0,007\text{m}$ e $66 \pm 0,006\text{m}$ para amplitude médio-lateral e amplitude vertical respectivamente). Os valores para a amplitude médio-lateral são similares ao reportado por Payton e Lauder (1995) e Scheihauf et al. (1998) ($0,34 \pm 0,07\text{m}$ e $0,37 \pm 0,08\text{m}$ respectivamente) (SCHLEIHAUF *et al.*, 1988; PAYTON e BARTLETT, 1995). As variações apresentadas para amplitude médio-lateral e amplitude vertical entre os estudos podem ser atribuídas a diferentes características antropométricas entre os sujeitos de pesquisa.

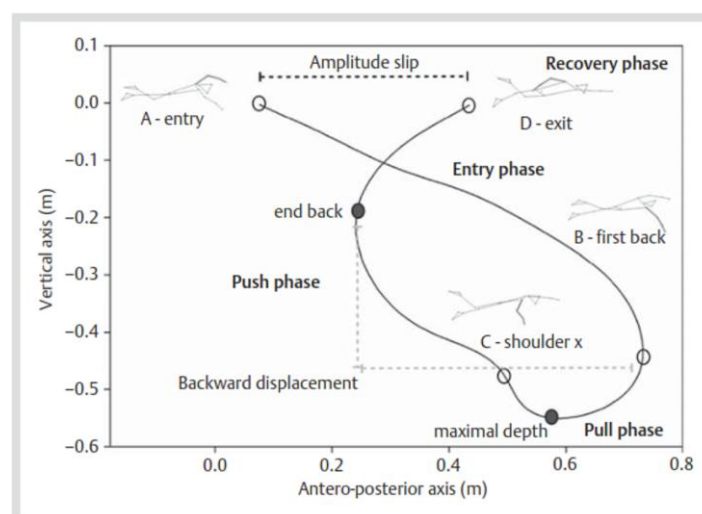
Gorgoulis et al. (2010) investigaram efeito de resistências adicionais ao nado sobre características cinemáticas da braçada e orientação da mão e indicaram decréscimo na distância percorrida por ciclo de braçada (Dbr), frequência de braçada (Fbr) e velocidade de nado (Vel) com aumento da resistência, todavia a duração total e relativa entre fase de puxar e empurrar aumentaram durante natação resistida. O aumento da duração da braçada foi acompanhada por um aumento na distância da fase de puxar (de $0,49 \pm 0,07\text{m}$ para $0,65 \pm 0,06\text{m}$), enquanto nenhuma alteração foi observada para deslocamento médio-lateral (média de 0,47cm) (GOURGOULIS *et al.*, 2010).

Figueiredo et al. (2009) analisaram o eixo de movimento horizontal, vertical e lateral para validade do ponto do quadril em representar os parâmetros cinemáticos do centro de massa no nado crawl, e verificaram que para os parâmetros para esta representação não são precisos. Por outro lado, Fernandes et al. (2012) indicaram que deslocamento progressivo do quadril pode fornecer boa estimativa do deslocamento e velocidade horizontal do nadador.

Figuras representativas da trajetória da braçada apresentada por diferentes estudos são ilustradas na Figura 3.2.



(SILVATTI *et al.*, 2013)



(FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013)

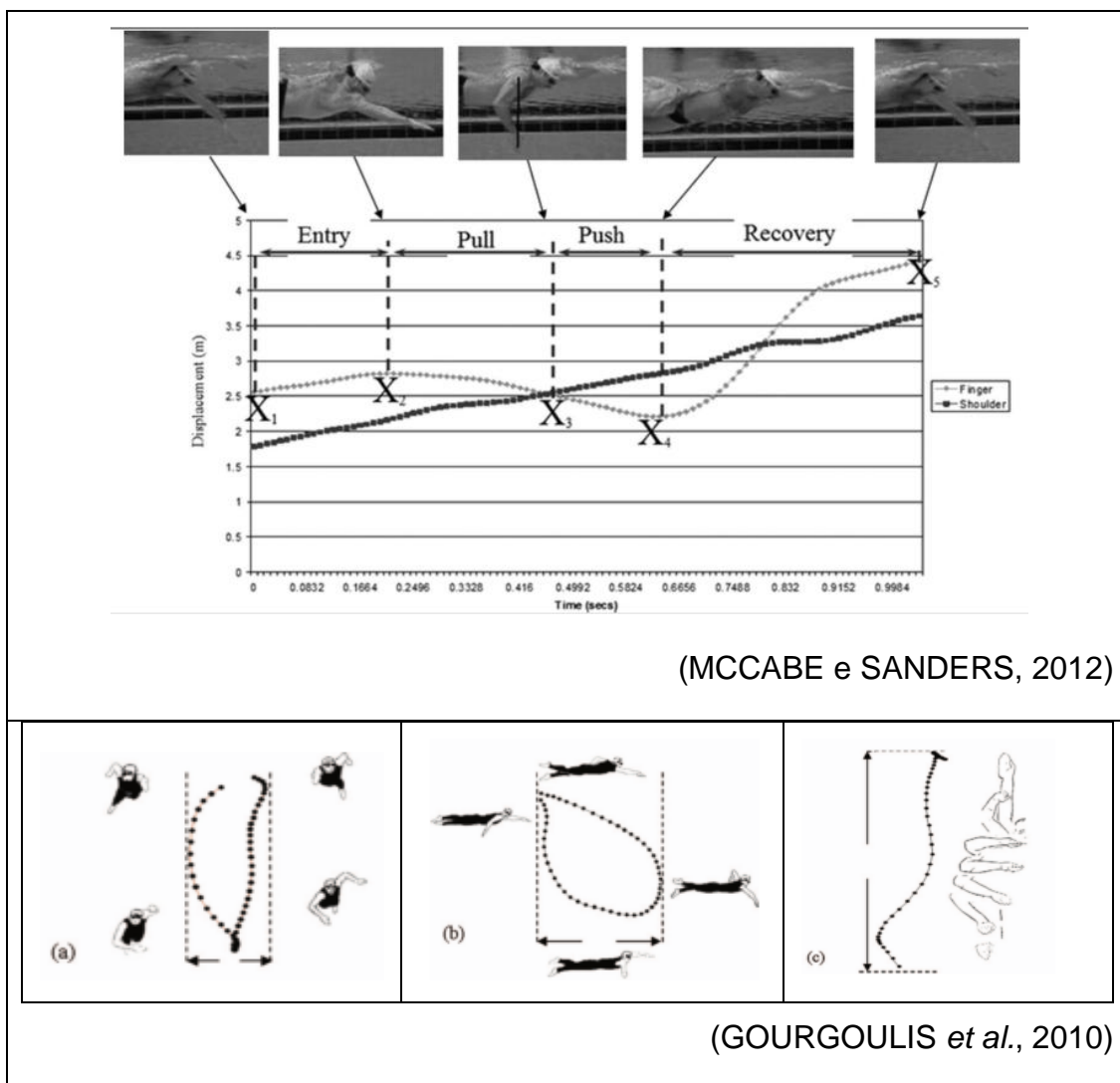


Figura 3.2 - Representação da trajetória tridimensional da braçada no nado crawl

3.2.1 Distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçadas (Dbr), frequência de braçada (Fbr) e variação intracíclica de velocidade (VIV)

Desempenho em natação depende de vários fatores, dos quais capacidades técnica e fisiológica são predominantes (GIROLD *et al.*, 2006; GIROLD *et al.*, 2012). Dentre estes, os fatores cinemáticos podem apresentar maiores influências no desempenho do atleta que sua própria capacidade de produção e liberação de energia para o deslocamento (CAPUTO *et al.*, 2000).

Assim, para o nível de alto rendimento, o aprimoramento da técnica tem sido cada vez mais enfatizado. Entre as variáveis objetivas mais utilizadas pelos treinadores e atletas para monitoramento da performance do nado estão a distância percorrida por ciclo de braçada e a frequência de braçada (MATOS *et al.*, 2013; CASTRO *et al.*, 2005).

A distância percorrida a cada ciclo de braçada refere-se à distância percorrida pelo corpo durante o nado durante o movimento de ciclo completo dos braços, enquanto a frequência de braçada é a média do número de ciclos realizados em um tempo determinado (MATOS *et al.*, 2013), a mensuração destas variáveis geralmente é definida no centro da piscina para minimizar os efeitos do impulso do nadador na borda no tempo de um ciclo (intervalo de tempo entre duas entradas da mesma mão consecutiva na água) ou média do tempo da realização de três ciclos completos (FRANKEN *et al.*, 2013). A prática da utilização de variáveis cinemáticas da braçada como a distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada é comum como indicador de potencial e também uma medida de proficiência técnica (MALONE *et al.*, 2001). A distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada é atribuída como fator mais influente na performance que a frequência (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008) e pode prever melhor diferenças de velocidades para todas classes funcionais em nadadores com deficiência (SATKUNSKIENE *et al.*, 2005).

O produto entre a Dbr e a Fbr determina a velocidade do nado (PELAYO *et al.*, 1999; MALONE *et al.*, 2001; FIGUEIREDO, BARBOSA, *et al.*, 2012). Assim distância percorrida por ciclo de braçada pode ser obtida pelo quociente entre os valores de velocidade de nado e frequência de braçada (FREITAS *et al.*, 2013; FRANKEN *et al.*, 2013) e alterações de aumento ou diminuição entre os parâmetros da braçada resultam em oscilações na velocidade (MATOS *et al.*, 2013; SMITH *et al.*, 2002). A distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e sua frequência possuem tal relação, que valores máximos ou mínimos de qualquer uma delas podem gerar nado mais lento, e a combinação ideal entre estas variáveis resulta em uma velocidade máxima ($V_{\text{máx}}$) (SMITH *et al.*, 2002; CASTRO *et al.*, 2005; CAPUTO *et al.*, 2001, CHOLLET *et al.*, 1997). O incremento na velocidade de nado ocorre geralmente através do aumento agudo da frequência de braçada com redução da força do fluido desperdiçada

em direções não propulsivas (YANAI, 2003) e crônico pela distância percorrida por ciclo de braçada (MATOS *et al.*, 2013) por meio do aprimoramento técnico.

A distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada representa a melhor predição da velocidade de nado, apesar da frequência ser um fator chave nas provas de curta distância (GIROLD *et al.*, 2007). Assim, nadadores que apresentam para uma mesma velocidade, uma maior Dbr são considerados mecanicamente mais técnicos e o produto entre a Vel e a Dbr, isto é, o índice de nado, é considerado como um indicador da habilidade técnica do nado (Castro *et al.*, 2005). Em adição, atletas mais proficientes demonstram melhor capacidade de manutenção da Dbr ao longo de uma prova (CHOLLET *et al.*, 1997). Por outro lado, o comportamento da frequência de braçada ainda não foi totalmente estabelecido, sendo que alguns estudos têm reportado frequência de braçada constante durante toda a prova (CHOLLET *et al.*, 1997), aumentos (ALBERTY *et al.*, 2009) ou ainda diminuição (SEIFERT, BOULESTEIX, *et al.*, 2005; SANTOS *et al.*, 2017) TOUSSANT *et al.*, 2006). Variações da frequência e da distância percorrida por ciclo podem corresponder a estratégias empregadas pelo nadador para manter ou incrementar a velocidade do meio para o final da prova. Todavia, nadadores mais habilidosos além de apresentarem maior velocidade, também apresentam distância percorrida e frequência de braçada mais constante no decurso da prova (SILVA, 2006; CHOLLET *et al.*, 1997).

Nikodelis *et al.* (2005) ressaltam que nadadores de elite distinguem de iniciantes através de uma série de diferenças cinemáticas indicadas por diversos estudos como: maior distância percorrida por ciclo de braçada e menor frequência de braçada resultando em um padrão mais econômico, rolamento de quadril mais simétrico e com maior amplitude para nadadores de elite e menor resistência ativa para os atletas mais habilidosos, devido conseguirem diminuir o arrasto utilizando força de propulsão de forma mais eficiente (NIKODELIS *et al.*, 2005).

Barbosa *et al.* (2013) investigaram o efeito agudo do uso de diferentes tamanhos de palmares no nado e verificaram que comparado ao nado crawl sem o material, palmares aumentam a velocidade de nado e distância média percorrida por ciclo de braçada ao mesmo tempo em que diminuem frequência

de braçada, sugerindo que este equipamento pode ser útil no desenvolvimento da Dbr e consequentemente do desempenho do nado (BARBOSA *et al.*, 2013).

Além da Dbr e Fbr, outro parâmetro cinemático relacionado com o desempenho de nado é a variação intracíclica da velocidade (BARBOSA *et al.*, 2008; FERNANDES *et al.*, 2012), que representa a aceleração e desaceleração do corpo do nadador dentro de um ciclo de braçada (FERNANDES *et al.*, 2012). Consideráveis variações intracíclicas de velocidade expõem os nadadores a forças hidrodinâmicas mais altas, devido a os impulsos corporais positivos e/ou negativos que afetam o custo energético (BARBOSA *et al.*, 2008) e eficiência do nado.

Nadadores de maior velocidade apresentam geralmente menor VIV (MOROUÇO *et al.*, 2015). Psycharakis *et al.* (2010) e Figueiredo *et al.* (2012) reportaram coeficiente de variação de 0,22 para a VIV sem alterações no decorrer de uma prova de 200m. Ao nosso conhecimento, nenhum estudo avaliou variação intracíclica da velocidade em nadadores com deficiência. Mensuração desta variável nos paratletas é necessária para um melhor entendimento de sua relação com o desempenho de nado.

3.3 Assimetrias e Performance de Nado

O estilo de nado crawl envolve coordenação alternada, ou seja, a fase recuperativa de um braço coincide com a fase propulsiva do seu par homólogo (NIKODELIS *et al.*, 2005), sendo que, o desempenho depende da proficiência de cada segmento em gerar força propulsiva, ainda que o nado crawl possa englobar muitas vezes emprego de uma coordenação sobreposta (SEIFERT, BOULESTEIX, *et al.*, 2005; SEIFERT *et al.*, 2007).

Apesar da natação ser atribuída como um esporte simétrico (GOZLAN *et al.*, 2006), com alternância de braçada para o nado crawl, a simetria entre hemicorpos não é garantida (TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009; SEIFER *et al.*, 2005; OLIVIER *et al.*, 2008; CHOLLET *et al.* 2000; ALBERTY *et al.*, 2009). De fato, assimetrias cinéticas (OLIVIER *et al.*, 2008; TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009; DOS SANTOS *et al.*, 2013; MOROUÇO *et al.*, 2015), de coordenação de

braço (ALBERTY *et al.*, 2009; CHOLLET *et al.*, 2009; SEIFERT *et al.*, 2005) e rolamento do ombro e quadril (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008) têm sido observadas, embora não haja um consenso concludente sobre sua causalidade, que podem envolver déficit de controle motor (CHOLLET *et al.*, 2000), dominância (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008; TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009) ou fatores associados à própria técnica de nado, como: respiração, posicionamento da cabeça e assimetria na rotação do corpo - (SEIFERT, BOULESTEIX, *et al.*, 2005; OLIVIER *et al.*, 2008; SEIFERT *et al.*, 2008).

Recentemente, revisão de literatura sobre o assunto apontou como fatores procedentes as assimetrias: lateralidade, genética, fatores ambientais, fatores do desenvolvimento ósseo muscular, efeito de doenças e lesões, overtraining/fadiga e técnica adotada (SANDERS *et al.*, 2011). Assimetria é um tópico crucial como objeto de estudo entre nadadores, uma vez que podem favorecer ou agravar patologias e danos causados principalmente ao ombro do nadador, devido à maior predisposição que estes exibem para o desenvolvimento de lesão, visto elevado número de movimentos repetidos que realizam durante o treinamento (cerca de 10.000 movimentos de braçada em treino semanal) (OLIVIER *et al.*, 2008). Outra analogia referida a assimetria, relaciona com o desempenho e tem sido foco de análise de vários estudos (CHOLLET *et al.*, 2000; SEIFERT, BOULESTEIX, *et al.*, 2005; ALBERTY *et al.*, 2009; TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009; PSYCHARAKIS *et al.*, 2010; DOS SANTOS *et al.*, 2013; MOROUÇO *et al.*, 2015).

Para um melhor entendimento da relação entre braçada direita e esquerda na ação propulsiva, índice de coordenação (IdC) baseado na análise de vídeos sincronizados para braço direito e esquerdo foi desenvolvido (CHOLLET *et al.* 2000). Este indicativo caracteriza a coordenação da ação de um braço em relação a outro, medindo tempo de latência entre fases propulsoras da braçada (ALBERTY *et al.*, 2009). São distinguidas quatro fases: entrada e apoio da mão na água; puxada; empurrada; e fase aérea (CHOLLET *et al.*, 2009). Três operadores analisam os pontos principais de cada fase com técnica cega e a média valida o ponto chave de cada fase. Lapso temporal entre fase propulsiva é chamado de “captura”, início e termino simultâneo de

“oposição” e superposição entre membros na fase propulsiva de “sobreposição” (CHOLLET *et al.*, 2000).

Chollet *et al.* (2009) avaliaram um grupo de nadadores e verificaram coordenação assimétrica para todos os atletas avaliados, com duração de agarre e tração mais elevada para braço dominante, oposto da respiração, o que pode acentuar desequilíbrio de forças entre os dois braços (TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009).

Pequenas diferenças de força entre hemicorpos são consideradas aceitáveis e inerentes ao corpo humano (JASZCZAK, 2008), todavia, diferenças maiores que 10% têm sido consideradas como assimetrias funcionais (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008; EVERSHED *et al.*, 2014) que requerem estratégias compensatórias (EVERSHED *et al.*, 2014). A mesma porcentagem tem sido identificada como admissível para assimetria de coordenação (SEIFERT *et al.*, 2008; FORMOSA *et al.*, 2013). No entanto, equivalência bilateral cinética não pode ser extrapolada para simetria cinemática e vice-versa.

Até o momento, Formosa *et al.* (2013 e 2014) demonstraram simetria para índice de coordenação de tempo na maioria dos nadadores avaliados com assimetria para o índice de força de arrasto (FORMOSA *et al.*, 2013; 2014). Parece que atletas de alto nível são capazes de modificar a aplicação de produção de força enquanto mantém o tempo da braçada equivalentes. Por outro lado, alguns atletas podem adotar cinemática compensatória para compelir uma aplicação de força simétrica, resultando em mudança na técnica do movimento (por exemplo, maior rotação de tronco) (EVERSHED *et al.*, 2014). Em contradição, Sanders *et al.* (2014) apontaram assimetrias conjuntas cinéticas e cinemáticas em um estudo de caso com um nadador de alto nível para o estilo de nado peito. Os autores ressaltam a importância da mensuração de simetrias uma vez que a mesma pode proporcionar a fundamentação sólida para planejamento de intervenção de força, flexibilidade e técnica para melhorar desempenho de nado (SANDERS, FAIRWEATHER, *et al.*, 2015).

Formosa *et al.* (2011) identificaram assimetria na força em função do tempo entre metade dos nadadores avaliados (isto é, 4 nadadores dentre 8 de elite). Morouço *et al.* (2015) observaram assimetria de força em porcentagem

ainda maior entre os participantes (aproximadamente 67%), todavia a mesma não foi associada com o nível de performance. Psycharakis e Sanders, 2010 também não verificaram relação entre assimetrias de rolamento de ombro e quadril com velocidade de nado. Em contrapartida, Dos Santos et al. (2013) reportaram que os nadadores mais habilidosos apresentam as menores assimetrias. Em adição ao desequilíbrio na aplicação de força máxima, Karsai diagnosticaram assimetria para a taxa de desenvolvimento de força e para o momento em que a força alcança o pico em uma visão lateral (KARSAI *et al.*, 2010).

Assimetrias bilaterais de rolamento de ombro e quadril foram anteriormente observadas e inferenciadas a utilização de respiração unilateral (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2010). Em adição, Psycharakis e Sanders (2008) relataram assimetria para rolamento de quadril e ombro, apresentando este maior valor para o lado esquerdo (apesar de alta variabilidade no perfil assimétrico) e assimetrias não diferiram entre o nível de habilidade. Em corroboração, Seifert et al. (2008) verificaram assimetria de coordenação de braço durante nado com respiração unilateral, principalmente quando realizada para o lado não preferido, enquanto nado com utilização de respiração bilateral, snorkel ou em apneia caracterizaram coordenação simétrica.

Chollet et al. (2009) também relataram impacto da respiração sobre simetria de força e coordenação (TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009). Assim, girar a cabeça constantemente para o mesmo lado parece automatizar um movimento que induz assimetrias de outras variáveis, como a ação propulsiva da braçada (SEIFERT *et al.*, 2005). Além de maior dispêndio de tempo na execução do movimento durante a respiração, o giro lateral da cabeça parece influenciar a simetria, uma vez que teste realizado com simulação da respiração, sem execução da mesma, resultou em coordenação assimétrica (SEIFERT *et al.*, 2008). Assim, alternar lado da respiração pode ser aconselhado durante sessões de treino para minimizar assimetrias excessivas.

Seifert et al. (2005) e Formosa et al. (2014) atribuíram a diferença entre segmentos ao papel funcional de cada membro superior, sendo o dominante responsável pela produção de forças superiores e o não dominante para controle e suporte (SEIFERT, CHOLLET, *et al.*, 2005; FORMOSA *et al.*, 2014).

Em controvérsia, dos Santos et al. (2013) não verificaram diferenças de assimetrias de força entre grupos que realizam respiração bilateral ou unilateral. Da mesma forma, Formosa et al. (2014) observaram assimetrias para força durante realização de braçada com e sem execução da respiração, apesar de não haver diferenças significativas entre o tempo para completar a fase propulsiva da braçada. Somados a este, Seifert et al. (2005) verificaram maior influência da respiração na assimetria entre os menos habilidosos, por outro lado, os nadadores de elite apresentaram maior e mais estável parâmetros temporais (velocidade e duração da braçada), coordenação de sobreposição e baixa frequência respiratória, mantendo um nado mais eficiente. Cappaert et al. (1995) complementam que nadadores de elite mantêm maior simetria entre rotação do corpo com posição mais alinhada, contrariamente a nadadores menos experientes, indicando que o controle sobre o rolamento do corpo destes é ineficiente (CAPPAERT *et al.*, 1995).

Formosa et al. (2014) apontaram como diferenças na coordenação da braçada em condição de respiração, entre os nadadores mais velozes comparado com os mais lentos, menor percentagem de sobreposição para o lado da respiração. Durante condição não respiratória, os mais velozes registraram redução de porcentagem de sobreposição e menor duração da fase subaquática para o lado da respiração (FORMOSA *et al.*, 2014). Provavelmente, redução da duração da fase subaquática permitiu maior frequência de braçada e consequentemente maior velocidade de nado (FORMOSA *et al.*, 2014).

Sanders et al. (2015) reportaram aumento da velocidade do centro de massa no sentido horizontal durante a fase de impulsionar maior para a mão direita em relação a mão esquerda, inferindo assimetria na produção de força e implicação para treinamento de desenvolvimento de força e técnica para o desenvolvimento de uma contribuição mais uniforme entre braçadas (SANDERS, GONJO, *et al.*, 2015). Em contrapartida, Silvatti et al. (2013) constataram simetria para trajetória da mão na maioria dos nadadores avaliados entre os quatro estilos de nado (SILVATTI *et al.*, 2013). Todavia, a análise neste estudo foi qualitativa, o que implica em subjetividade nos resultados apontados.

Vantorre *et al.* (2010) observaram um aumento do índice de coordenação após saída do bloco durante os 25 metros e indicaram que os nadadores melhoram a continuidade da propulsão das ações dos braços, implementando sua coordenação. Inversamente, Sanders e Psycharakis (2009) relataram que índice de coordenação tende a ser maior no início da prova e que rolamento de ombro mantém constante não sendo afetado pela frequência de braçada ou pela fadiga. Os dados contraditórios sugerem necessidade de novos estudos sobre a assimetria de coordenação.

Assimetrias podem ser ainda mais acentuadas em nadadores paraolímpicos pela própria natureza de sua deficiência física com frequente exibição de perfil antropométrico assimétrico. Devido à ampla variabilidade das deficiências físico-motoras apresentadas pelos paratletas, diversas assimetrias são evidenciadas, por exemplo, deficiência nos membros superiores causam desequilíbrio no amplitude antero-posterior tamanho e capacidade de produção de força do segmento, deficiência dos membros inferiores ocasionam assimetria no rolamento do corpo e paralisia cerebral assimetrias devido inabilidade neuromuscular (DINGLEY *et al.*, 2015).

De fato, Dingley *et al.* (2014) verificaram maior assimetria de força nos nadadores paraolímpicos mais gravemente comprometidos, associação entre aumentos de assimetrias com fadiga e indicaram que acréscimos de assimetria provavelmente reduzem propulsão. Dessa forma, os autores concluíram que relação entre fadiga e assimetria é influenciada pelo nível da deficiência física (DINGLEY, A. A. *et al.*, 2014). Todavia, Satkunskiene *et al.* (2005) não encontraram assimetria de movimento de braços em nadadores com deficiência locomotora, avaliado pela diferença de duração entre fases da braçada. Em adição, os valores verificados para IdC entre os atletas paralímpicos foram comparáveis com dados da literatura para atletas hábeis com característica de baixa sobreposição para os nadadores mais velozes e com maior distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada. Os conflitos de resultados apontados na literatura demonstram necessidade de mais estudos que avaliem assimetrias bilaterais entre atletas e paratletas de natação.

A investigação da simetria são importantes por orientar treinamentos compensatórios que visem evitar instabilidade articular do ombro (CHOLLET *et*

al., 2009) responder a assimetrias excessivas (SEIFER *et al.*, 2005) além de reduzir risco de fadiga prematura por um dos segmentos e pode estar associada a melhores desempenhos (DOS SANTOS *et al.*, 2013). Treinadores devem se concentrar em programas de treinamento que mantêm simetria de força (DINGLEY, A. *et al.*, 2014) e de movimento ao longo da prova, principalmente em grupo de atletas que apresentam previamente perfil assimétrico, como ocorre geralmente no caso dos nadadores deficientes físicos.

3.4 Natação Paralímpica

O Decreto Federal número 914 de 6 de setembro de 1993, em seu artigo 3º, define pessoa deficiente aquela que apresenta em caráter permanente, perdas ou anormalidades de sua estrutura ou função psicológica, fisiológica ou anatômica, que deixem a pessoa com uma incapacidade para o desempenhar de atividades, dentro do padrão considerado normal para o ser humano (PAGANI, 2012). Neste contexto, o esporte paraolímpico surgiu com a finalidade inicial de promover melhoria nas condições de reabilitação e reinserção social das pessoas com deficiência (VITAL *et al.*, 2002; VITAL *et al.*, 2007; BENFICA, 2012; PAGANI, 2012).

Em 1957 iniciou-se no Brasil o esporte adaptado (PAGANI, 2012), que teve crescentes conquistas principalmente após a criação do Comitê Paraolímpico Brasileiro no ano de 1995 (VITAL *et al.*, 2007). Desde então, tem apresentado crescente evolução quer seja em seu aspecto administrativo, de marketing ou técnico (DA COSTA e DOS SANTOS, 2002). Dentre as modalidades competitivas nos Jogos Paraolímpicos, a natação, desde sua inserção em Roma em 1960 (FULTON, PYNE, HOPKINS, *et al.*, 2009; SILVA *et al.*, 2013), tem demonstrado maior representatividade (FULTON, PYNE, HOPKINS, *et al.*, 2009).

Os princípios considerados na natação adaptada são os mesmo aplicados na natação para atletas sem deficiência, assim, técnicas de movimento devem ser aprimoradas, ainda que o nadador apresente restrições, na busca de aproximá-las da natação convencional (GREGUOL, 2010). De

fato, Daly et al. (2001) verificaram o mesmo padrão para os componentes da competição entre nadadores olímpicos e paralímpicos (isto é, mesmo percentual de tempo despendido na saída, nado limpo, virada e chegada), embora, os paratletas tenham apresentado velocidade absoluta mais lenta em cada um dos componentes do nado (DALY *et al.*, 2001). Mesmo quando a deficiência é considerada mínima, ela ainda é associada com detrimento no desempenho em comparação com nadadores sem deficiência (TAYLOR *et al.*, 2016). Isto ocorre porque limitações da própria deficiência podem reduzir coordenação, amplitude de movimento, capacidade em gerar força propulsiva e inabilidade em manter o corpo em posição hidrodinâmica, o que resulta em aumento de forças resistivas (DALY e MARTENS, 2011).

Lee et al. (2014) cita como exemplo, a diferença no tempo para completar a prova de 100 metros livres nos Jogos Olímpicos e Paralímpicos de 2012 dos atletas e paratletas amputados unilateralmente, que foi 15 a 20% menor nos nadadores deficientes (LEE *et al.*, 2014). Dingley et al (2015) também descreveram maior velocidade da saída do nado (na maioria das suas fases) entre os nadadores sem deficiência. Assim, deve-se ter um cuidado quanto a generalizações realizadas entre atletas e paratletas (S ATKUNSKIENE *et al.*, 2005). Treinadores e estudiosos do esporte que trabalham com nadadores paralímpicos devem evidenciar empiricamente suas decisões ao aplicar o modelo utilizado para nadadores sem deficiência (TAYLOR *et al.*, 2016). As características biomecânicas e fisiológicas única destes nadadores proporciona um desafio para técnicos e pesquisadores da área (FULTON *et al.*, 2010).

Dos Santos et al. (2002) avaliaram quantitativamente e qualitativamente, por meio de cinemetria, parâmetros biomecânicos de nado em paratletas brasileiros e observaram tração deficiente na fase principal da braçada tanto para o nado livre quanto para o estilo costas, quebra no ritmo da braçada, rotação demasiada e cruzamento da média do corpo durante fase área no estilo de nado costas. Em adição, oscilações laterais foram observadas em todos aqueles nadadores que não apresentavam controle de abdômen e membros inferiores (DOS SANTOS e GUIMARÃES, 2002b). Os autores enfatizam a importância na descrição de padrões de movimento para cada tipo de deficiência a fim de que se tenha disponível um padrão de normalidade para

futuras comparações. Burkett e Mellifont (2008) complementam a necessidade de evidências científicas para auxiliar treinadores na formulação de programas de treinamento específicos com suporte do trabalho de cientistas do esporte (BURKETT e MELLIFONT, 2008).

Recentemente uma revisão de literatura sobre biomecânica de atletas paralímpicos indicou que os estudos referentes à área contribuem principalmente para o aprimoramento técnico (32 estudos), prevenção de lesões (6 estudos) e melhor entendimento sobre as classificações nos esportes paralímpicos (6 estudos) (MORRIËN *et al.*, 2016). Os autores ressaltam a importância da análise biomecânica no aprimoramento do desempenho, principalmente entre as diferentes deficiências e suas limitações para a prática do esporte. No mesmo sentido, Medeiros *et al.* (2015) mensuraram a composição corporal de nadadores paralímpicos da equipe brasileira para servir de parâmetros na identificação de potencial de desempenho físico (MEDEIROS *et al.*, 2015). Os autores verificaram que redução de massa gorda e aumento de massa magra são associados com performance de nado dos nadadores paratletas. Em contra partida, Oh *et al.* (2013), afirmaram que massa corporal não é preditora de arrasto passivo.

Santos *et al.* (2002) criaram um banco de dados sobre o perfil antropométrico de atletas paralímpicos brasileiros no período dos Jogos Olímpicos e Paralímpico de Sydney, para viabilizar futuras comparações durante a formação de novas equipes. A equipe de natação masculina apresentou média de estatura $1,65 \pm 0,13$; IMC $22 \pm 4 \text{ kg/m}^2$ e idade 27 ± 6 anos, já as meninas apresentaram $1,52 \pm 0,04 \text{ m}$ de estatura média, $20 \pm 1 \text{ kg/m}^2$ para IMC e 26 ± 7 anos de idade (DOS SANTOS e GUIMARÃES, 2002a). Estes valores apresentados para estatura são menores do que os reportado entre paratletas internacionais ($1,74$ a $1,85$ para classes entre S6 a S10 masculina e $1,49$ a $1,71 \text{ m}$ feminina) (DINGLEY *et al.*, 2015). No estudo supracitado, as médias das estaturas foram similares aos valores das envergaduras, o que não seria esperado, uma vez que maiores envergaduras possibilitam maior alavanca para produção de força propulsiva e consequentemente desempenho elevado (DINGLEY *et al.*, 2015).

Oh *et al.* (2013) conferiram maior estatura e menor circunferência de ombro na posição hidrodinâmica a menor resistência passiva entre os

paratletas. Dingley et al. (2015) observaram correlação positiva entre estatura, massa muscular e envergadura com a velocidade de nado entre as paratletas de classes S6 a S8, todavia, em nadadoras sem deficiência ou pertencentes às classes mais altas, a massa muscular foi correlacionada com menor velocidade. Por outro lado, paratletas do sexo masculino de classes S9 a S10, demonstraram que menor massa magra, maior dobra cutânea e envergadura, com menor área de superfície frontal são determinantes para a velocidade de nado. A velocidade média em prova de 100m de nado foi $1,66 \pm 0,06 \text{ m.s}^{-1}$ entre nadadores do sexo masculino sem deficiência, $1,70 \pm 0,11 \text{ m.s}^{-1}$ com baixa severidade e $1,44 \pm 0,15 \text{ m.s}^{-1}$ com moderada. Já entre as nadadoras as velocidades foram de $1,48 \pm 0,05 \text{ m.s}^{-1}$ para paratletas sem deficiência física, $1,45 \pm 0,07 \text{ m.s}^{-1}$, pouco severa e $1,29 \pm 0,13 \text{ m.s}^{-1}$ média severidade (DINGLEY *et al.*, 2015).

Recentemente, Medeiros et al. (2015) disponibilizaram novos dados antropométricos dos integrantes da equipe brasileira de natação (12 homens e 5 mulheres de classificação S4-S10, S11 e S13) que corresponderam a $1,67 \pm 0,16 \text{ m}$ de estatura, massa de 61.8 ± 15.3 e idade 23.4 ± 7.9 anos. Após o acompanhamento de 6 meses de treinamento da equipe o tempo médio para completar prova de 50m livre passou de $35,2 \pm 8,9 \text{ s}$. para $34,7 \pm 8,7 \text{ s}$. (MEDEIROS *et al.*, 2015). Nos Jogos Paralímpicos de Sidney o tempo para prova de 50m entre as classes S4 e s10 para os nadadores do sexo masculino foi em média 35,42s (DA COSTA e DOS SANTOS, 2002), valor ligeiramente maior que os apontados por Medeiros et al. (2015) o que demonstra, uma evolução de performance dos paratletas brasileiros nas provas de 50m de nado livre.

Outros estudos sobre análise da natação paralímpica direcionaram seu enfoque para resposta de reação na saída do nado (DI RUSSO *et al.*, 2010), aspectos fisiológicos (PELAYO *et al.*, 1995; DENADAI, 2002; GARATACHEA *et al.*, 2006), volume de treino (FULTON *et al.*, 2010), dor, lesão e doenças (BERNARDI *et al.*, 2003; KATELARIS *et al.*, 2006; VITAL *et al.*, 2007; ENGEBRETSEN *et al.*, 2013; MEDEIROS *et al.*, 2015) e motivação para a prática esportiva (PAGANI, 2012; DE AMORIM OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Di Russo et al. (2010) verificaram piores resultados de tempo de reação em nadadores deficientes comparado com paratletas de basquetebol e não

atletas sem deficiência, explicado pela característica fechada do esporte que não favorece respostas flexíveis.

Garatachea et al. (2006) analisaram a correspondência entre a velocidade crítica da natação em atletas deficientes e a intensidade de exercício no início do acúmulo de lactato sanguíneo e confirmaram a validade da utilização da velocidade crítica da mesma forma que é descrita entre nadadores sem deficiência (GARATACHEA *et al.*, 2006). Em adição, Denadai (2002) relataram que o limiar aeróbio é uma medida válida na avaliação dos nadadores com deficiência, capaz de distinguir classificação, uma vez que a velocidade correspondente a 4mM aumentou em função do aumento das classes e evidenciou a limitação da capacidade funcional das classes mais baixas (DENADAI, 2002).

Pelayo et al. (1995) sugerem utilização de teste funcional aeróbio máximo e teste anaeróbio láctico máximo (protocolo com progressão de velocidade a cada dois minutos e 200m livres, respectivamente), no planejamento dos programas de treino entre nadadores deficientes com suas devidas adaptações. Teste funcional aeróbio máximo aplicado em paratletas exibiu menor velocidade inicial, menor aumento de velocidade de nado e maior acúmulo de lactato quando comparados a nadadores sem deficiência, com duração, pico de FC e máxima velocidade relativa ao melhor tempo, semelhantes. O teste anaeróbio foi similar em relação à concentração de lactato e velocidade relativa ao melhor tempo em prova de 100 m (PELAYO *et al.*, 1995).

O crescimento do esporte paraolímpico trouxe aumento das exigências para superação de limites físicos e mentais, com contínuo incremento nas cargas de treinamento e competições. O monitoramento no treino é um tema crítico no processo de quantificação dos planos de periodização prévios a competições como os Jogos Paralímpicos (FULTON *et al.*, 2010). Mendeiros et al. (2015) relataram 3 a 6 sessões com um volume de 8 a 27 km/semana na primeira fase do treinamento do time paralímpico brasileiro e 4 a 8 sessões com volume de 13-40 km/semana na segunda fase.

Fulton et al. (2010) reportaram sessões que variavam entre 3,1 e 10,1 e volume 4,6 a 65,8km/semana para 16 paratletas qualificados para o IPC World Swimming Championships. Os valores para subgrupo de S8 a S10 variaram

entre 4,2 e 6,3 sessões e volume de 16,3 a 24,6km/semana. Os autores constataram que nadadores que tiveram os maiores aprimoramento de desempenho e nadaram mais próximos de tempo recordes, treinavam com menor volume e intensidade, o que levanta dúvidas sobre programas de treino contemporâneo (com volume muito elevado) e evidencia necessidade de explorar estratégias e metodologias alternativas para os treinos (FULTON *et al.*, 2010). Os resultados apontados contradizem estudo prévio (PELAYO *et al.*, 1999) no qual treino e volume não foram diretamente relacionados com o sistema de classificação.

Dingley *et al.* (2015) ressaltam que a inclusão de treino de potência em ergômetro pode ser uma importante ferramenta no trabalho de preparação dos paratletas, uma vez que nadadores podem ser beneficiados substancialmente com aumento da capacidade de gerar potência, especialmente entre aqueles com desabilidades físicas mais severas. Futuros estudos são necessários para desenvolver diretrizes prescritivas para volume de treinamento em cada classe, considerando o tipo de deficiência (FULTON *et al.*, 2010).

Além do prejuízo de performance, excesso de treino pode acarretar o aparecimento e agravamento da prevalência de dor entre os atletas. Na natação paralímpica dores são associadas com deficiência, volume de treino (BERNARDI *et al.*, 2003) e aumento dos índices de lesões traumato-ortopédicas (VITAL *et al.*, 2007). A predisposição para lesões parece depender da deficiência e esporte praticado, sendo que na natação a prevalência ocorre principalmente na região do ombro, geralmente por uso excessivo justificado pelos movimentos repetidos característicos da modalidade (SILVA *et al.*, 2013). Dor no ombro é um problema comum entre nadadores e requer um trabalho de equipe multidisciplinar para prevenir, otimizar conduta perante lesão (RUSS, 1998) e evitar detrimientos de performance.

Performance em natação é determinada pela habilidade do nadador em gerar força propulsiva e minimizar força resistida (FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013). Dingley *et al.* (2015) reportaram que para alcançar este fundamento, nadadores do sexo masculino com deficiência física de baixa severidade devem ser capazes de desenvolver grande potência, possuir grande circunferência de peitoral, pequena envergadura, dobras cutâneas baixas, alto percentual de massa muscular e possuir técnica proficiente em desenvolver

qualidades motoras compensatórias para superar suas deficiências. Curiosamente, Dingley et al. (2015) averiguaram que entre paratletas do sexo masculino as maiores potências foram geradas entre aqueles que apresentavam menor envergadura, o que os autores apontaram ser uma anomalia, uma vez que é sabido sobre os princípios biomecânicos que alavancas mais longas produzem maior velocidade e tem uma maior propensão para gerar força por braçada. Os autores questionam que maior envergadura pode não ser uma medida direta de sucesso na natação paralímpica, mas sim a capacidade do nadador em usar esta extensão do braço efetivamente para gerar potência. O grau da deficiência física do nadador parecia influenciar diretamente a relação de velocidade e potência mais do que o seu perfil antropométrico, uma vez que nadadores com mais severas deficiências produziram menor potência e velocidade (DINGLEY *et al.*, 2015).

Outro fator que influencia a performance, e que deve ser considerado quando se tenta propor disputa leal para nadadores com deficiência, é não só como a deficiência limita propulsão, mas também como ela afeta sua capacidade de manter a propulsão durante a prova. Lee et al. (2014) relataram maior força propulsiva em nado atado para atletas sem deficiência quando relacionado a nadadores amputados unilateralmente, associação negativa com o tempo para completar uma prova de 100 metros para ambos os grupos (com e sem deficiência) e decréscimo de força com o decorrer do teste (30 s), sendo que os atletas amputados apresentaram uma fase submersa mais longa ao final do teste e não diferiram em relação ao comportamento de fadiga do grupo de nadadores sem deficiência, explicado provavelmente por adaptações de compensação através de técnica que maximize o braço não afetado (LEE *et al.*, 2014).

3.4.1 Classificação

Uma especificidade do paradesporto é a necessidade de uma classificação entre os atletas para a competição, ou seja, um agrupamento entre competidores com capacidades semelhantes (VITAL, 2002) para que vitória não ocorra em função da deficiência, mas sim por melhor treino e talento

(MANOLE *et al.*, 2001). Nos esportes paraolímpicos cada órgão de gestão desenvolve seu próprio sistema de classificação.

Na natação, a separação entre deficientes físicos é baseada em fatores de força, coordenação, amplitude de movimento e ou amplitude antero-posterior de segmento (PELAYO *et al.*, 1999; BURKETT *et al.*, 2010). Os nadadores passam por uma classificação técnica que avalia suas habilidades funcionais e atribui uma classe que varia de 1 (mais severamente comprometido) a 10 (menos severamente comprometido) (PELAYO *et al.*, 1999; FULTON, PYNE e BURKETT, 2009; FULTON *et al.*, 2011; OH, 2015). Assim, diferentes deficiências podem apresentar desempenho semelhante (SATKUNSKIENE *et al.*, 2005) e competir dentro de uma única classe (ex. atletas com amputação, lesão e paralisia cerebral podem ser agrupados em uma mesma classe).

O sistema de classificação foi desenvolvido por especialistas, que apesar das dificuldades de divisão pela predominância de opinião subjetiva perante a evidências científicas (LEE *et al.*, 2014), tem intuito de proporcionar uma partida justa (GEHLSSEN e KARPUK, 1992), minimizando o impacto de cada deficiência no resultado da competição (OH *et al.*, 2014). Classificação pode ser alterada se a habilidade do nadador for considerada muito ou pouco funcional para o nível de classificação do atleta (PELAYO *et al.*, 1999; WU e WILLIAMS, 1999). Atualmente, o manual de classificação para natação do Comitê Paralímpico Internacional (SWIMMING, 2005) é estabelecido através de 3 passos: banco de nado (considera fatores como força e disfunção muscular, flexibilidade, amplitude antero-posterior de membro amputado e de membros inferiores), testes aquáticos (avalia a capacidade de saída, nado, virada, batida de perna e flutuação) e observação durante a competição com foco na habilidade do nadador (OH, 2015).

Para nadadores com perda de visão, a classificação é dividida em três subgrupos baseados na acuidade visual (MALONE *et al.*, 2001), avaliados por oftalmologista (SILVA *et al.*, 2013). A subdivisão se justifica uma vez que, diminuição de visão pode influenciar desempenho de nado, retardar processo de refinamento de técnica, induzir em adoção de uma posição da cabeça e de postura que afetam hidrodinâmica, além poder mascarar o potencial de movimento dos segmentos do corpo (MALONE *et al.*, 2001).

Para uma classificação justa, a performance através das classes deve ser diferente, adversários da mesma classe devem apresentar performance semelhante e diferentes tipos de deficiência devem ter a mesma oportunidade em avançar para uma final e ganhar medalha (WU e WILLIAMS, 1999).

Erro de classificação é um problema intrigante no paradesporto, visto que pode gerar frustração entre nadadores que se sentem injustiçados por competir com um adversário o qual julgam que deveria pertencer a uma classe superior, ou entre treinadores e atletas que acreditam terem sido prejudicados na alocação da classe em relação as limitações geradas pela devida deficiência (WU e WILLIAMS, 1999). Erros podem ocorrer quando por algum motivo o nadador não exibe sua real habilidade durante o processo de classificação ou por observação equivocada por parte dos avaliadores (WU e WILLIAMS, 1999).

Gehlsen et al. (1992) conduziram uma pesquisa para determinar a efetividade da classificação proposta pela “National Wheelchair Athletic Association” em eventos de natação, pela análise dos recordes de tempo dos 4 estilos de nado. Os resultados não suportaram totalmente o sistema de classificação, uma vez que não foram capazes de distinguir classes subjacentes. Da mesma forma, Oh et al. (2013) indicaram que o corrente sistema de classificação proposto pelo Comitê Paralímpico Internacional não diferenciam claramente subdivisão de classes, visto que classes adjacentes apresentaram diferenças inconsistentes para força passiva de arrasto, embora nadadores das classes menores tenham experimentado as maiores forças de arrasto passivo e vice-versa (OH *et al.*, 2013). Geralmente o problema ocorre nas bordas de classes adjacentes, que em alguns casos poderiam ser agrupadas para evitar competição com muito poucos adversários (WU e WILLIAMS, 1999).

Wu e Williams (1999) afirmaram eficiência no sistema de classificação, uma vez que velocidade foi correlacionada com classe nas diferentes provas dos Jogos Paralímpicos de 1996 e que não houve uma dominância de deficiência em termos de oportunidade de participação, conquista de medalhas e avanço para finais. O estudo apontou que a média da velocidade entre os finalistas para a prova de 50 metros livre variou de $0,59 \pm 0,07 \text{m.s}^{-1}$ para a classe S2 a $1,84 \pm 0,03 \text{m.s}^{-1}$ para classe S10 (WU e WILLIAMS, 1999).

Recentemente, Dingley et al (2015) verificaram que correlação entre média de potência mensurada em ergômetro e performance de natação aumentou com o grau da deficiência física. Em outro estudo Dingley et al. (2015) constataram maior velocidade de saída entre classes de deficiência menos severas quando comparado com classes de média e alta severidade.

Fulton et al. (2009) observaram associação positiva entre aumento de classe funcional e média de tempo para conclusão da prova. Variabilidade intra-nadador paralímpico de desempenho (2,2%) foi maior do que as apontadas anteriormente para nadadores Olímpicos e melhoria de 0,5% no desempenho foi verificado por ano. Os autores referem a uma melhora de 1 a 2% por ano para atletas paralímpicos que desejam aumentar sua perspectiva de medalha (FULTON, PYNE e BURKETT, 2009). Em adição, Pelayo et al. (1999) verificaram aumento de velocidade e parâmetros de braçada com o nível de habilidade das classes S3 a S10 e em relação a nadadores hábeis, sendo que a distância percorrida por ciclo de braçada foi o principal contribuinte para velocidade, explicado em parte por maior amplitude de movimento, força, coordenação e comprometimento corporal de acordo com o grau de deficiência. Em adição o índice de nado demonstrou que pode ser usado como critério prático para árbitros avaliar se o nadador parece ser muito funcional ou insuficiente para seu nível de classificação (Pelayo et al., 1999).

Burkett et al. (2010) verificaram diferença de tempo de execução da saída do nado entre nadadores olímpicos e três classes de nadadores paraolímpicos (S8, S9 e S10). Embora similaridade verificada entre S9 e S10, os resultados apontaram para um aumento de tempo entre classes, o que apoia o distinto agrupamento entre as classificações avaliadas. Todavia, porcentagens relativas despendidas entre fases da saída foram semelhantes entre os grupos, o que indica manutenção de um padrão técnico de saída entre os nadadores. Em oposição, Dingley et al (2015) observaram menor porcentagem de tempo despendido na fase subaquática entre os nadadores de classes mais baixa (DINGLEY, A. A. *et al.*, 2014).

Dados contraditórios sugerem que o sistema de classificação é conflitante e que ainda há falta de evidências científicas para suportar a divisão de classes. Assim, diferentes perspectivas de estudos fisiológicos e biomecânicos são necessárias a fim de identificar maiores detalhes sobre

fatores inerentes a classificação (WU e WILLIAMS, 1999). Em adição, para uma disputa justa, são necessários estudos que considerem não somente como cada deficiência e nível de acometimento limita a performance inicial, mas também como ela afeta a capacidade de sustentação do desempenho durante a prova e após demanda de esforços em alta intensidade de nado.

3.5 Padrão do movimento de nado após repetições de esforços em alta intensidade no nado

Alterações no padrão do movimento de nado no decorrer de uma prova tem recebido atenção na ciência esportiva principalmente no esporte de alto rendimento (FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013; KENNEDY *et al.*, 2013), devido analogia dos efeitos deletérios no desempenho, relacionado com provável processo de fadiga instaurado (ALBERTY *et al.*, 2009). Toussaint *et al.* (2006), por exemplo, citam que a diminuição na velocidade de natação em teste de 100 metros de crawl é o resultado da diminuição na capacidade de produção de energia do nadador devido ao processo de fadiga.

Komar *et al.* (2012) analisaram as alterações nos parâmetros da braçada, organização motora e eficiência do nado com aumento do gasto energético na locomoção aquática através de um teste incremental (6x300m) e verificaram que aumento no gasto energético foi correlacionado com aumento no índice de coordenação, frequência de braçada e diminuição na distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada como adaptações ao processo de fadiga ocorrido. Todavia, neste estudo a alteração da coordenação dos braços não alterou modelo de coordenação (captura) (KOMAR *et al.*, 2012). Alberty *et al.* (2009) por sua vez, aplicaram três esforços de nado até exaustão a 95, 100 e 110% da velocidade máxima de um teste de 400m e relataram que fadiga induziu aumento na frequência (para compensar redução na capacidade de gerar impulso propulsivo por braçada) e diminuição na distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada. Esta adaptação tem sido atribuída ao desenvolvimento de fadiga, uma vez que o nadador começa gradualmente ser incapaz de gerar força necessária para superar resistência ao avanço do movimento.

Fadiga pode afetar também a técnica de tal modo que o arrasto aumente devido a alteração no alinhamento do corpo (CRAIG *et al.*, 1985). Em adição, Alberty *et al.* (2009) verificaram que com decorrer do teste a duração da fase não propulsiva diminuiu e IdC aumentou, o que reflete a redução da lacuna de tempo entre duas ações propulsivas consecutivas e resultam em um aumento de unidade de distância por propulsão. As adaptações motoras asseguram que o impulso propulsor total permaneça constante enquanto a força de propulsão média por braçada é reduzida (ALBERTY *et al.*, 2009).

A capacidade comprometida de gerar força para superar arrasto tem sido sugerido como fator contribuinte da diminuição de amplitude antero-posterior e frequência de braçada (CRAIG *et al.*, 1985). Bassan *et al.* (2016) analisaram a relação entre parâmetros cinemáticos com pico de torque e taxa de desenvolvimento de torque no desempenho máximo de crawl até a exaustão. O pico de torque e taxa de desenvolvimento de torque entre flexores e extensores do cotovelo diminuíram após o desempenho de nado. Distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada diminuiu, enquanto frequência de braçada aumentou. Em adição o percentual de tempo despendido na duração da fase propulsiva aumentou enquanto fase não propulsiva diminuiu. Redução na capacidade do músculo gerar força e potência foi associada com parâmetros cinemáticos de braçada (frequência e distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada) e sua coordenação (tempo despendido em cada fase).

Alterações na distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçada e frequência da braçada ocorrem concomitantemente na tentativa de uma manutenção da velocidade de nado (CRAIG *et al.*, 1985; PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008; SANTOS *et al.*, 2017). Assim, velocidades similares podem ser obtidas com diferentes combinações de frequência e distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008) e distancias percorridas (CRAIG e PENDERGAST, 1979; CRAIG *et al.*, 1985; ARELLANO e BROWN, 1994; HELLARD *et al.*, 2008). Sustentação de esforços elevados podem induzir ainda alterações na coordenação de braçada e requerem uma intervenção consciente para otimização técnica com o transcorrer do tempo (SOARES *et al.*, 2014). De fato, alguns autores tem

encontrado diminuição na duração relativa da fase não propulsiva da braçada com o decorrer do desempenho e refletem em alteração na coordenação do nado (SEIFERT *et al.*, 2007; ALBERTY *et al.*, 2008). Assim, duração entre fases da braçada permitem um melhor entendimento de como nadadores adaptam sua coordenação do nado no decorrer do desempenho (ALBERTY *et al.*, 2009).

Bassan *et al.* (2016) verificaram modificação na duração das fases da braçada no decorrer do nado. A fase de tração aumentou de 26,5% para 33,3% entre o começo e o final, fase de impulsionar de 21,1% para 24,9%, enquanto a fase de entrada e agarre diminuiu de 27,2% para 20,8% e fase recuperativa 25,0% para 20,1%. IdC aumentou de -3,17% para 8,48%. A mudança na contribuição das fases levam a um menor tempo entre fases propulsivas, esta estratégia compensatória parece ser útil para permitir um aumento na participação das fases propulsivas com objetivo de manter impulso propulsivo.

Seifert *et al.* (2007) analisaram as mudanças cinemáticas e coordenativas durante desempenho de 100m crawl em relação ao nível de performance e sexo. Três modelos de coordenação foram identificados: captura, oposição, e sobreposição. Nadadores de maior proficiência foram distinguidos por apresentarem maior velocidade, distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, frequência de braçada, tempo despendido na fase propulsiva, IdC e mantiveram maior estabilidade das variáveis durante o teste. Nadadores de média e baixa performance apresentaram coordenação de oposição. Ao final do teste, os nadadores despenderam mais tempo na fase de impulsionar provavelmente pelo decréscimo da velocidade e mudaram para coordenação de sobreposição.

Coordenação pode ser influenciada pela especialidade dos atletas (MILLET *et al.*, 2002), habilidade propulsiva (TOUSSAINT e BEEK, 1992), parâmetros antropométricos (SATKUNSKIENE *et al.*, 2005) e gênero (SEIFERT *et al.*, 2004). Diminuição da velocidade foi explicada por possível processo de fadiga. Distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada foi o principal fator de discriminação de velocidade. Como nadadores de menor velocidade despenderam mais tempo para completar os 100m, eles nadaram por maior período de tempo em condição de fadiga e em razão disso podem

ser mais afetados pela fadiga. IdC entre nadadores mais velozes não diferiu entre gênero e foi relacionada com fadiga e nível de performance.

Alberty et al. (2005) demonstraram que durante sustentação de esforços máximos de nado há um aumento percentual na duração das fases propulsivas da braçada (provavelmente pela incapacidade de gerar força rápida), com alteração na coordenação dos braços, pela diminuição da lacuna entre as fases propulsivas de cada braçada. Ao final do teste a duração da fase não propulsiva diminuiu de 61,8 para 57,7% e concomitante aumentou a fase propulsiva de 38,2 para 42,3%, justificado pela diminuição da velocidade da mão. Seifert et al. (2007) encontraram aumento de IdC nos grupos de media e baixa velocidade, mas a alteração foi considerada ineficiente, visto que diferentemente dos nadadores de alta velocidade, a distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada continuou a decrescer. Assim o aumento da duração da fase de impulsão foi relatada com menor velocidade de deslocamento da mão.

Alberty et al. (2009) sugerem que sobreposição de fases da braçada durante impulso propulsivo e aumento da frequência de braçada são utilizadas como estratégias na manutenção da propulsão durante o nado, assim nadadores se utilizam de uma, outra ou ambas estratégias para manter a velocidade. Por outro lado, Satkunskiene et al. (2005) relatam que nadadores com deficiência locomotora parecem não apresentar vantagem com maior dispêndio de tempo na fase de empurrar. Os autores encontraram que a força propulsiva foi relacionada com o aumento da fase de puxar e diminuição da fase de entrada e agarre, assim a longa fase de empurrar foi mais atribuída ao equilíbrio do corpo do que com propulsão (S ATKUNSKIENE *et al.*, 2005). Em estudos anteriores foi elucidado que mãos com constante mudança de direção e alternância de aceleração e desaceleração durante fase subaquática são incapazes de aplicar forças elevadas contínuas. Assim nadadores para ter coordenação eficiente, precisam possuir direção, trajetória e ângulo da mão efetivos (SCHLEIHAUF *et al.*, 1988).

Suito et al (2008) avaliaram a primeira e segunda parcial de um teste de 100 metros (65 m) e verificaram redução da velocidade de nado ($1,62 \pm 0,06 \text{ m s}^{-1}$ e $1,49 \pm 0,06 \text{ m.s}^{-1}$ em cada instante respectivamente), velocidade da mão

($2,54 \pm 0,17 \pm 2,29 \pm 0,19 \text{ m.s}^{-1}$) e indicaram que esta é um dos fatores fundamentais na predição da velocidade do nado. Os autores sugerem que a fadiga foi responsável pela diminuição da velocidade da mão e conduziu assim a redução da velocidade do nado, uma vez que a mão é assumida como principal geradora de força propulsiva no nado.

Figueiredo et al. (2013) reportaram diminuição da velocidade e distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada do começo ao final de um teste de 200m de nado crawl, enquanto frequência de braçada diminuiu nas parciais intermediárias, mas posteriormente aumentou. A velocidade diminuiu de 1,58 para 1,43 m.s^{-1} . Stirn et al. (2011), avaliaram os parâmetros cinemáticos da braçada a cada parcial de 25m durante um desempenho máximo de 100m nado crawl e verificaram diminuição da velocidade, distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e frequência de braçada (15,0; 5,8 e 7,4% respectivamente). Da mesma forma, Aujouannet et al. (2006) reportaram velocidade média e frequência de braçada menor nos últimos 50m comparado com os primeiros no desempenho de 200m de nado crawl.

Chollet et al. (1997) reportaram redução de 5,7% na velocidade de nado na segunda metade de um teste de 100m, enquanto, Pai et al. (1984) reportaram uma diminuição de 6,3% e Toussant et al. (2006) de 12,4%. A diferença entre redução da velocidade reportada por diferentes estudos pode ser explicada pela habilidade dos nadadores, uma vez que nadadores de maior proficiência possuem melhor capacidade de manutenção da velocidade de nado (CRAIG *et al.*, 1985). De fato, Seifert et al. (2007) reportaram diminuição na velocidade de 100m aproximadamente em 16, 18 e 23% para nadadores de alta, média e baixa velocidade, respectivamente. Concomitantemente com a velocidade de nado, diminuição da distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada no decorrer da prova tem sido atribuído principalmente a nadadores de média e baixa velocidade, enquanto nadadores de elite conseguem maior estabilidade para sustenta-la até o final da prova (SEIFERT *et al.*, 2007). Parece que trajetória e parâmetros da braçada de nadadores de maior proficiência não são facilmente modificadas mesmo quando os atletas são expostos a condição de fadiga (MATTHEWS *et al.*, 2017).

Tella et al. (2008) realizaram protocolo com uma repetição máxima de 75m crawl e 10s depois uma de 25m e observaram redução na velocidade média e na frequência de braçada na repetição de 25m (TELLA *et al.*, 2008). Estes achados estão de acordo com Weiss et al. (1988), todavia nenhuma diferença foi reportada na distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e no índice de coordenação ao final do teste (WEISS *et al.*, 1988), contrapondo achados anteriores (CHOLLET *et al.*, 2000). Psycharakis 2008 encontraram aumento de frequência e diminuição da distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada indiferente idade e gênero após teste incremental de 7 séries de 200m em nado crawl.

Devido redução de força muscular induzida pela fadiga, nadadores são incapazes de manter distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, o que tem sido usado como um indicador de fadiga (WEISS *et al.*, 1988; KESKINEN e KOMI, 1993; DEKERLE *et al.*, 2005). Assim, a frequência de braçada geralmente é aumentada em uma tentativa de compensação para manter velocidade (ALBERTY *et al.*, 2008), mas com a continuidade do processo de fadiga, frequência de braçada e velocidade de nado tendem também a diminuir (STIRN *et al.*, 2011).

Programas de fortalecimento de rotadores externos, mobilidade para restaurar amplitude de movimento e propriocepção tem sido indicados aos nadadores para manter a distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e amplitude da rotação externa após esforços máximos durante o nado e beneficiar performance, além de prevenir lesões (MATTEWS 2016). Devido a importância da distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada na melhoria da performance, seria benéfico para nadadores praticarem treinamento para ampliar amplitude do ciclo de braçada e tentar resistir sua redução quando a velocidade aumenta (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008).

Os estudos apresentados demonstram alteração na mecânica do nado em curto tempo durante uma distância específica de prova, todavia podem não representar sustentação de esforços elevados com a continuidade dos estímulos (MATTHEWS *et al.*, 2017). Estudos que induzam repetições de

esforços por maior período de tempo são necessários a fim de verificar as alterações perante sustentação de estímulos elevados.

Nadadores com deficiência física, além de apresentarem desempenho distinto segundo sua classificação funcional (WU e WILLIAMS, 1999; FULTON, PYNE, HOPKINS, *et al.*, 2009), exibir resposta distinta em relação à sustentação de estímulos máximos segundo severidade da deficiência (DINGLEY, A. *et al.*, 2014), que pode ser precoce ou mais acentuada segundo a deficiência ou classificação. Assim, considerações devem ser feitas para competição justa entre paratletas não somente pela limitação da deficiência no desempenho, mas também como ela afeta a habilidade do nadador de sustentar o desempenho.

Dingley et al. (2014) quantificaram a magnitude da relação entre força bilateral em teste no seco, desempenho de nado e influencia da fadiga em nadadores paralímpicos. Alterações foram observadas no pico de força em todos os nadadores e média de força entre paratletas sem deficiência física (deficientes visuais). Um pequeno aumento na assimetria bilateral foi observado na aplicação de força média em nadadores de maior e menor severidade de deficiência durante 60s de teste. No decorrer de 60s de esforços maiores diferenças na dinâmica das assimetrias foram encontradas entre paratletas de deficiência visual e pequena severidade de deficiência física. Parece que aumento de assimetria reduz a média de produção de força e velocidade com maior declínio observado em nadadores sem deficiência física (deficientes visuais). Isto foi algo inesperado uma vez que nadadores deficientes físicos possuem numerosas deficiências que presumiria comportamento mais afetado.

Lee et al. 2014 avaliaram alterações na força propulsiva e nos parâmetros da braçada em 9 nadadores com amputação unilateral de braço e 9 nadadores sem deficiência em teste de 30 s máximos em nado atado e observaram que paratletas apresentaram menor produção de força em 20% que nadadoras sem deficiência e similar índice de fadiga (decréscimo da força relativa), mas as nadadoras com amputação tiveram maior declínio na frequência de braçada. Os autores sustentavam a hipótese de que nadadoras com amputação de braço exibiriam maior fadiga, mas justificaram que talvez as

paratletas compensaram a propulsão limitada do braço comprometido, adotando uma técnica que maximizasse o braço não afetado e que isto não influenciou na sustentação da força aplicada. Assim o estudo sugere que nadadores com amputação unilateral de braço não são mais suscetíveis ao declínio da força propulsiva que nadadores sem deficiência. Em adição, redução da frequência de braçada foi associada com índice de fadiga para nadadores sem deficiência. A frequência de braçada decresceu em 7%, dados corroborados por Alberty et al., 2005. Em relação as fases da braçada, somente duração da fase recuperativa entre as nadadoras com amputação unilateral de braço diminuiu no decorrer do teste. Mesmo as paratletas apresentando maior declínio da frequência de braçada, o índice de fadiga foi similar entre os grupos, assim, parece que os nadadores com amputação de braço compensam a queda na frequência de braçada otimizando a técnica de maneira mais efetiva que nadadores sem deficiência ao final do teste.

Toussaint et al. (2006) reportaram que eficiência técnica propulsiva decresce com a fadiga. Caso as nadadoras paratletas mantiveram melhor a eficiência do nado, talvez isto possa explicar porque o índice de fadiga foi o mesmo apesar do maior declínio da frequência de braçada entre os paratletas. O decréscimo da frequência de braçada dos paratletas foi de 47 para 42 ciclos.min-1 (LEE et al., 2014).

Sustentação de desempenho de nado é associado com aumento de assimetria, redução da aplicação de força, velocidade de nado e pode ser influenciado pela severidade da deficiência (DINGLEY, A. A. et al., 2014). Treinadores e paratletas deveriam focar treino em programas para manter simetria de produção de força no decorrer da prova (DINGLEY, A. et al., 2014). Estudo sobre coordenação de nado e assimetria durante sustentação de nado após estímulos de esforços em alta intensidade no nado em parateltas pode permitir que técnicos obtenham novas ideias de como manter mais estáveis os parâmetros de nado no decorrer de uma prova. Somados a isto, poderia auxiliar na disposição de informações objetivas para a divisão de classes entre os paratletas.

De fato, o sistema de classificação corrente é regido por especialistas do assunto, mas é predominantemente subjetivo, realizada com opinião ao invés

de evidências científicas. Dados experimentais são necessários para ajudar desenvolver um sistema baseado em informações objetivas, com base em evidências científicas, levando, por exemplo, a consideração não somente de como a deficiência limita o desempenho, mas também como ela afeta a habilidade do nadador de sustentar o desempenho. Estudos que investiguem a alteração mecânica e coordenativa de nado entre paratletas de natação são necessários.

3.6 Síntese da revisão

Avaliação cinemática tridimensional de nadadores é dificultada devido às adversidades provindas do meio aquático. Análise dos aspectos que diferenciem os desempenhos mais expressivos de nado se faz necessário. Em adição, há ainda uma grande lacuna na literatura sobre a compreensão de tais parâmetros nos paratletas. Dentre estes aspectos, a relação entre assimetrias da braçada e desempenho no nado são controversos e requerem maiores investigações. Da mesma forma, o entendimento sobre o comportamento do gesto no decorrer do desempenho do nado são essenciais no âmbito do alto rendimento.

CAPÍTULO IV

Reprodutibilidade inter e intra-avaliador e precisão do rastreamento cinemático manual e semiautomático da trajetória do nado crawl em nadadores com deficiência.

Parte deste capítulo foi publicado sobre o título: “Reproducibility, repeatability and accuracy analysis of three-dimensional kinematics of the front crawl stroke trajectories in impaired swimmers” na revista *Physical Education and Sport*, 17 (1), 367-370, 2017.

Uma segunda parte deste capítulo foi aceito para publicação sobre o título: “Reproducibility and repeatability of intracyclic velocity variation in front crawl swimming from manual and semi-automatic measurement” na revista *Human Moviment*, 2017.

4. Reprodutibilidade inter e intra-avaliador e precisão do rastreamento cinemático manual e semiautomático da trajetória do nado crawl em nadadores com deficiência.

4.1 Introdução

Análise cinemática tridimensional é um método comum usado na avaliação do desempenho esportivo através da reconstrução do movimento pela digitalização de acidentes anatômicos gravados. Todavia, a análise dos esportes aquáticos é um problema desafiador no campo da biomecânica, devido em partes, a dificuldade em identificar marcadores corporais no ambiente líquido (CESERACCIU *et al.*, 2011). De fato, a reconstrução do movimento subaquático é influenciada pelo erro de paralaxe e turbulência (PAYTON *et al.*, 1999; LEE *et al.*, 2008) que reduzem precisão do monitoramento dos acidentes anatômicos avaliados (KWON, 1999; GOURGOULIS *et al.*, 2008). Em adição, devido à falta de equipamentos projetados para um rastreamento subaquático automático, os vídeos são analisados por digitalização manual de um conjunto de marcadores inseridos sobre o corpo do avaliado, o que pode ser influenciado pela habilidade do operador na identificação desses pontos (CESERACCIU *et al.*, 2011), além de demandar longo consumo de tempo (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2009; CESERACCIU *et al.*, 2011; SANDERS, GONJO, *et al.*, 2015). Isto limita o número de participantes, tentativas e ciclos de braçada que podem ser digitalizados em uma análise de natação (SANDERS, GONJO, *et al.*, 2015). Além disso, quando um grande volume é necessário, a área de calibração deve ser aumentada e, conseqüentemente, a imagem é reduzida, marcadores do corpo são mais difíceis de distinguir e, como resultado, a precisão pode ser reduzida (SANDERS, GONJO, *et al.*, 2015).

Até o momento, Olstad *et al.* (2015) e Ribeiro *et al.* (2016) aplicaram rastreamento automático com marcadores reflexivos por um sistema específico desenvolvido para análise subaquática (Qualysis) (OLSTAD *et al.*, 2016; RIBEIRO *et al.*, 2016). No entanto, este sistema tem um custo elevado e

apenas poucos laboratórios no mundo possuem esta tecnologia. Adicionalmente, Schreven et al. (2015) usaram marcadores de LEDs para melhorar a visualização dos marcadores, mas mantiveram a digitalização manual (SCHREVEN *et al.*, 2015). Finalmente, Slawson et al. (2010) aplicaram marcadores de luz com LED para permitir o processo de rastreamento automático com baixo custo (SLAWSON *et al.*, 2010), todavia, as avaliações foram bidimensionais, identificadas apenas para a saída e a virada do nado. De fato, análises cinemáticas bidimensionais têm sido aplicadas no intuito de simplificar tais mensurações, como o exemplo da avaliação da velocidade do deslocamento do quadril apenas no sentido de sua progressão no nado (FERNANDES *et al.*, 2012), porém, avaliação do deslocamento (e velocidade) simultâneo nos três eixos do movimento do nadador exige uma mensuração mais realista (FIGUEIREDO *et al.*, 2009; PUEL *et al.*, 2012).

A análise cinemática na natação é fundamental para estabelecer o desempenho técnico e tem sido concentrada em atletas de natação (PAYTON *et al.*, 1999; FIGUEIREDO *et al.*, 2009; FERNANDES *et al.*, 2012; FIGUEIREDO, SEIFERT, *et al.*, 2012; MCCABE e SANDERS, 2012). No entanto, até onde sabemos, nenhum estudo desenvolveu uma análise tridimensional de nadadores paratletas. Assim, esta informação é crucial para obter uma maior compreensão sobre esta população em específico. Contudo, a reprodutibilidade inter e intra-avaliador e a precisão das avaliações cinemáticas de nadadores com deficiência precisam ser testadas para garantia de que os dados analisados são confiáveis. De fato, a veracidade das interpretações depende da confiabilidade dos dados, que, por sua vez, depende do efeito do erro aleatório introduzido durante o processo manual da digitalização (SANDERS, GONJO, *et al.*, 2015).

O primeiro objetivo deste estudo foi avaliar a reprodutibilidade inter e intra-avaliador da digitalização manual da trajetória tridimensional da braçada do nado crawl para o desempenho de um nadador com deficiência física. O segundo objetivo foi investigar a reprodutibilidade inter e intra-avaliador de um marcador de luz/LED para reconstrução semiautomática do deslocamento do corpo do nadador. Adicionalmente a concordância entre rastreamento semiautomático e digitação manual foi testada e o tempo despendido para

completar cada procedimento foi comparado. Por fim, o terceiro objetivo do estudo compreendeu a avaliação da precisão da mensuração subaquática. A hipótese 1 foi de que as trajetórias durante a braçada apresentariam moderada a alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador. A hipótese 2, da mesma forma, foi de que marcadores constituídos por luz de LED permitiriam rastreamento semiautomático com reprodutibilidade inter e intra-avaliador similar a digitalização manual e tempo de processamento reduzido. Finalmente, a hipótese 3, pressupôs erro aceitável para precisão da reconstrução subaquática.

5.1 Métodos

A reprodutibilidade inter e intra-avaliador e precisão da cinemática tridimensional foram estabelecidas pelo conceito proposto no "Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results" (TAYLOR, 2009). A reprodutibilidade interavaliador foi analisada pela concordância entre os resultados das mesmas medições realizadas por diferentes operadores, enquanto a reprodutibilidade intra-avaliador foi definida pela proximidade entre os resultados de medidas sucessivas realizadas pelo mesmo operador. Finalmente, a precisão foi determinada pela proximidade entre o valor real da medida e o resultado obtido pela reconstrução.

Participantes e procedimento

Para determinar a reprodutibilidade inter e intra-avaliador e precisão dos procedimentos da digitalização, uma gravação de vídeo foi selecionada aleatoriamente de uma amostra de 11 filmagens de nadadores com deficiência física. O vídeo selecionado correspondeu a um paratleta de 20 anos de idade, com paralisia cerebral e classificado de acordo com o Comitê Paralímpico Internacional como S6. O nadador foi monitorado durante um teste máximo de 50m em nado crawl ao passar por um espaço pré-calibrado. O volume de

calibração consistiu em dimensões de 3,5 x 1,0 x 0,75 m (eixos x, y e z respectivamente) com 54 pontos de controle. Quatro câmeras de vídeo subaquáticas (GoPro Hero 4black) sincronizadas por um pulso de luz foram usadas para capturar os movimentos dos nadadores. O campo de visão das câmeras foi ajustado na opção de abertura média (127°) e possíveis efeitos de distorção foram reduzidos aplicando uma configuração de "ajuste da lente" no próprio software de estúdio da câmera GoPro. Além disso, as imagens foram cortadas e convertidas para AVI usando o mesmo software. SIMI Reality Motion Systems com 60 Hz foi usado para digitalizar manualmente cada quadro do deslocamento do nadador. Nenhum filtro foi aplicado para permitir uma comparação mais realista entre os procedimentos de digitalização.

Para a presente análise, oito marcadores foram considerados:

- Dois marcadores passivos (constituídos por fita adesiva preta) em cada uma das falanges distais dos dedos médio da mão direita e esquerda, para testar reprodutibilidade inter e intra-avaliador da reconstrução manual da trajetória da braçada do nadador.
- Dois marcadores ativos (constituídos por LEDs acoplados a baterias de lítio – 3v) inseridos em um traje de nado sobre o trocânter maior dos hemis corp os direito e esquerdo do avaliado.
- Quatro marcadores ativos (idênticos ao citado acima) inseridos no traje de nado sobre os antebraços dos nadadores, estando dois posicionados sobre o processo estilóide e dois sobre o epicôndilo lateral do rádio dos antebraços direito e esquerdo.

O traje de nado utilizado foi desenvolvido especialmente para aplicação desta pesquisa e constituiu de um traje de lycra que recobria pernas, braços e dorso dos nadadores com inserção de fragmentos de velcro (aproximadamente 0,10m de amplitude antero-posterior por 0,05m de amplitude médio-lateral) em partes que coincidissem com acidentes anatômicos selecionados, para aderir os marcadores de LED. Os marcadores de LED por sua vez, foram compostos de LEDs acoplados a baterias de lítio (3v) e fragmento de velcro (aproximadamente 0,03m de amplitude antero-posterior e amplitude médio-lateral). O traje de nado e o sistema de marcadores ativos estão demonstrados na Figura 4.1.

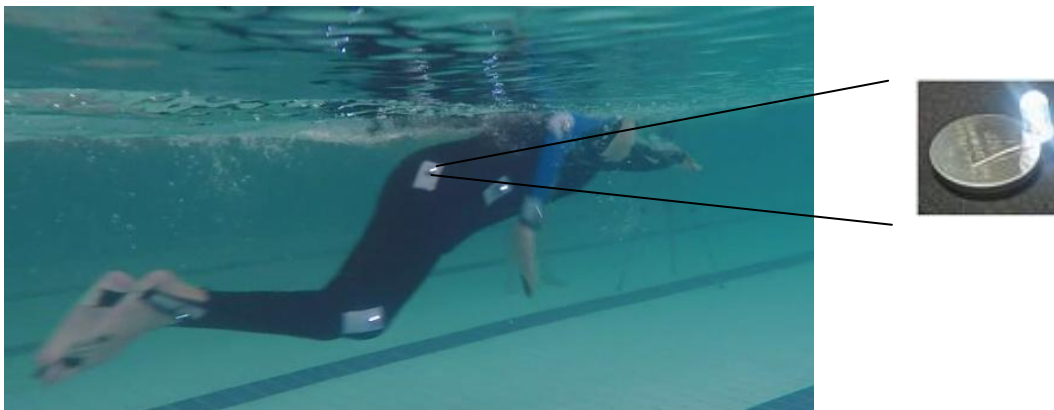


Figura 4.1 - Representação do traje de nado e marcadores ativos.

Dez operadores experientes com digitalização manual identificaram as trajetórias dos marcadores passivos para testar sua reprodutibilidade interavaliador. Além disso, a digitalização manual foi repetida três vezes por três dos operadores, a fim de avaliar a reprodutibilidade intra-avaliador da reconstrução da trajetória da braçada. A reprodutibilidade inter e intra-avaliador dos marcadores de luz foram testadas repetindo-se cinco digitalizações manuais e cinco rastreamentos semiautomáticos da velocidade do deslocamento do corpo do nadador por dois marcadores de LED inseridos no traje de nado na altura do quadril. Em adição, foram avaliados erro típico de medida e mínima mudança detectável da trajetória resultante entre os métodos. Finalmente, a precisão foi determinada pela variância entre o cálculo da reconstrução do antebraço direito e esquerdo (resultante dos 3 eixos do cotovelo e punho) e o amplitude antero-posterior do antebraço previamente avaliado com uma fita métrica (0,26 m).

Estatística

A reprodutibilidade inter e intra-avaliador dos dados digitalizados manualmente e do rastreamento semiautomático foram avaliadas pelo coeficiente de correlação intraclasse (ICC). Coeficientes abaixo de 0,4 foram interpretados como pobres, entre 0,4 e 0,75 satisfatórios e acima de 0,75

excelentes (FLEISS, 2011). Concordância entre métodos foram avaliadas segundo gráfico de Bland-Altman pela dispersão dos dados, no qual o eixo y representa a diferença das medições emparelhadas e o eixo x à média das mensurações. Recomendação de que 95% dos pontos se encontrassem dentro do limite de ± 2 desvios-padrões da média (BLAND e ALTMAN, 1986) foi respeitada. O tempo despendido para a realização de cada procedimento foi cronometrado. A precisão foi avaliada pelo root mean square (RMS) para quantificar a concordância entre a reconstrução manual e o amplitude antero-posterior real do antebraço. Em adição, coeficiente de variação entre eixos resultantes da digitalização dos operadores foi calculado. Finalmente, erro típico de medida e mínima mudança detectável entre trajetória do deslocamento manual e automático foram calculados. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se uma rotina personalizada (Matlab 7.0) com nível de significância estabelecido em $p < 0,05$.

5.3 Resultados

A reprodutibilidade inter e intra-avaliador das trajetórias das braçadas direita e esquerda entre diferentes operadores e entre medições sucessivas do mesmo operador são apresentadas na Tabela 4.1. Todas as coordenadas mostram alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador das medições.

Tabela 4.1 – Reprodutibilidade inter e intra-avaliador para as trajetórias das braçadas direita (D) e esquerda (E) do nadador paratleta nos eixos x, y e z

| | | Reprodutibilidade Interavaliador (10) | | Reprodutibilidade Intra-avaliador | | | | | |
|---|---|---------------------------------------|-------|-----------------------------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|
| | | | | Avaliador 1 | | Avaliador 2 | | Avaliador 3 | |
| | | ICC | F | ICC | F | ICC | F | ICC | F |
| E | x | 0,99* | 13996 | 0,99* | 6883 | 0,99* | 8988 | 0,99* | 15312 |
| | y | 0,99* | 4557 | 0,99* | 1932 | 0,99* | 1548 | 0,99* | 3355 |
| | z | 0,99* | 25283 | 0,99* | 8618 | 0,99* | 18838 | 1,00* | 42785 |
| D | x | 0,99* | 18849 | 0,99* | 10604 | 0,99* | 12376 | 0,99* | 6091 |
| | y | 0,99* | 7820 | 0,99* | 2991 | 0,99* | 4494 | 0,99* | 3223 |
| | z | 0,99* | 39306 | 0,99* | 15542 | 1,00* | 38827 | 1,00* | 25946 |

* $p < 0,01$

O coeficiente de variação entre a digitalização dos operadores variou de 3 a 4 para reconstrução da braçada direita e 2 a 7 para braçada esquerda.

O rastreamento semiautomático foi aproximadamente 27% mais rápido do que a digitalização manual (790s por marcador versus 1.102s respectivamente). A reprodutibilidade interavaliador da reconstrução do deslocamento do corpo nos procedimentos foi excelente para os três eixos de coordenadas. A reprodutibilidade intra-avaliador da digitalização manual do marcador luminoso variou entre satisfatória e excelente, enquanto a reprodutibilidade intra avaliador do rastreamento automático foi excelente para todos os eixos. Reprodutibilidade inter e intra-avaliador do marcador de LED estão presentes na tabela 4.2.

O erro típico de medida da trajetória resultante foi de aproximadamente 1mm, enquanto que a mínima mudança detectável foi de aproximadamente 4 mm.

Tabela 4.2 – Reprodutibilidade inter e intra-avaliador da velocidade de deslocamento do quadril entre os hemisférios direito (D) e esquerdo (E) do nadador paratleta para os eixos x, y e z.

| | | Reprodutibilidade Interavaliador | | Reprodutibilidade intra-avaliador Manual | | Reprodutibilidade intra-avaliador Automática | |
|----------|---|----------------------------------|--------|--|-------|--|--------|
| | | ICC | F | ICC | F | ICC | F |
| D | x | 0,97* | 57,36 | 0,89* | 42,01 | 0,94* | 84,11 |
| | y | 0,93* | 29,05 | 0,73* | 14,46 | 0,84* | 28,00 |
| | z | 0,99* | 208,01 | 0,94* | 81,00 | 0,98* | 276,20 |
| E | x | 0,86* | 12,88 | 0,48* | 5,63 | 0,79* | 19,32 |
| | y | 0,93* | 29,55 | 0,70* | 12,63 | 0,88* | 39,27 |
| | z | 0,98* | 106,04 | 0,91* | 50,19 | 0,96* | 133,88 |

*p<0,001

Resultados produzidos pela repetição do rastreamento semiautomático em ambas as braçadas para eixos x, y e z estão representados na figura 4.2.

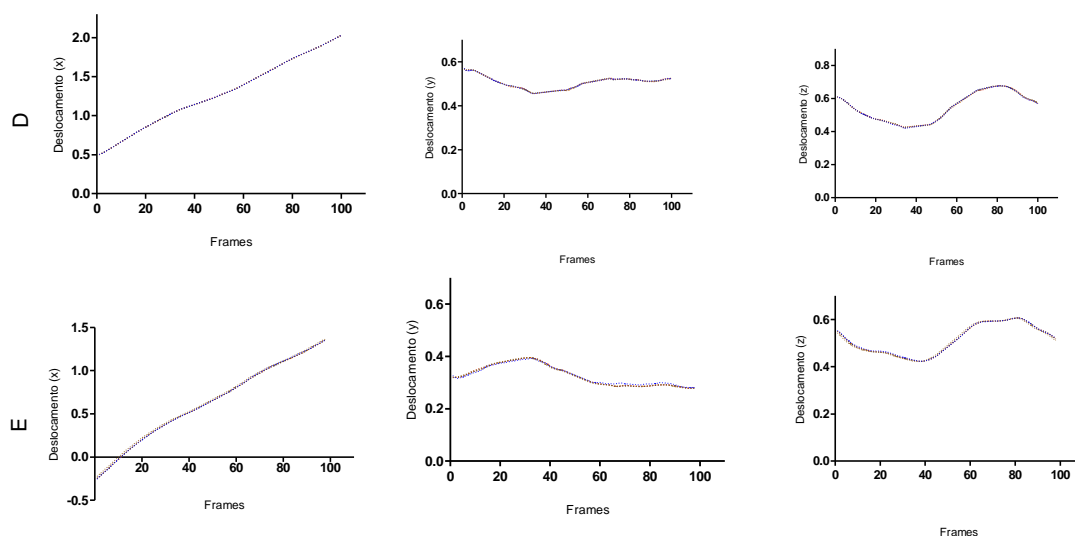
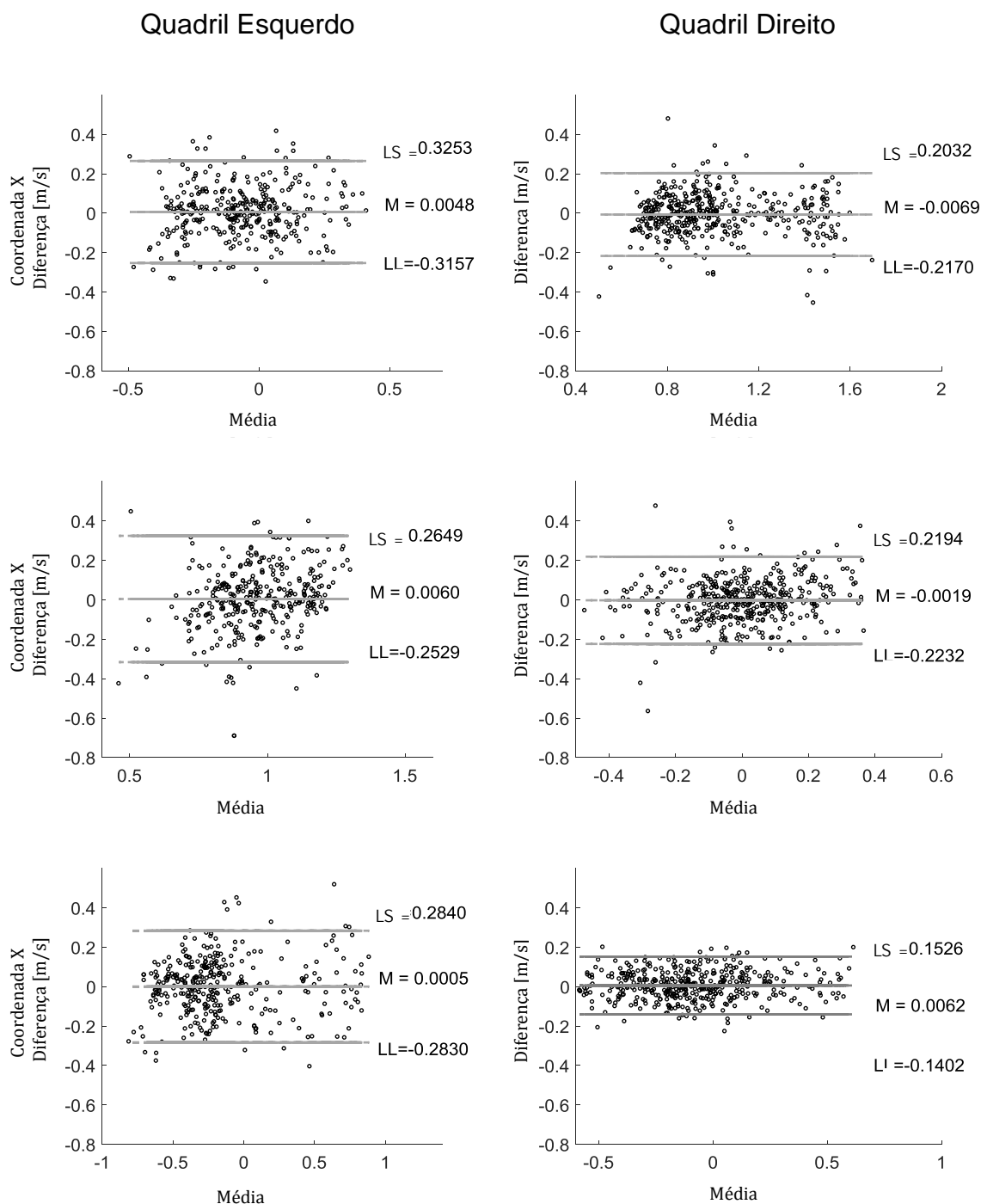


Figure 4.2 – Gráfico do rastreamento semiautomático da velocidade de deslocamento do quadril durante um ciclo de braçada do nado para os eixos x, y e z.

O gráfico de Bland-Altman (Figura 4.3) mostrou boa concordância entre as mensurações com alocação da maioria dos dados dentro dos limites superiores e inferiores estabelecidos. Diferenças de médias entre mensuração manual e semiautomática não foram significativamente diferentes de zero e variaram entre $-0,01$ e $0,01\text{m.s}^{-1}$. Os maiores limites para concordância corresponderam à coordenada x (progressão do movimento) do quadril esquerdo ($-0,31$ e $0,32\text{m.s}^{-1}$) e os menores, a coordenada z (deslocamento vertical) do quadril direito ($-0,14$ e $0,15\text{m.s}^{-1}$).



Nota: SL – limite superior; M – média; LI – limite inferior

Figura 4.3 - Concordância entre processamentos de reconstrução de imagem manual e semiautomático

Os RMS dos segmentos dos antebraços direito e esquerdo foram semelhantes (8,8 e 8,3 mm, respectivamente) e corresponderam a 3,2-3,4% da amplitude antero-posterior real do segmento.

5.4 Discussão

Este estudo foi desenvolvido para avaliar: i) reprodutibilidade inter e intra-avaliador da trajetória subaquática tridimensional da braçada no desempenho de nadadores com deficiência; ii) reprodutibilidade inter e intra-avaliador de marcadores de LED para o deslocamento do quadril durante o nado iii) precisão da mensuração subaquática.

Reprodutibilidade inter e intra-avaliador da digitalização manual da trajetória da braçada do nadador

Os resultados mostraram alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador para digitação manual que estão de acordo com outros estudos (FIGUEIREDO *et al.*, 2011; FERNANDES *et al.*, 2012). Esses achados são cruciais uma vez que aplicabilidade é assegurada na reconstrução do movimento, principalmente quando se trabalha com uma população específica, como os nadadores deficientes, os quais são esperados apresentar padrões motores únicos devido às limitações impostas pela própria deficiência. Pelayo *et al.* (1999) relataram diferenças nos parâmetros das braçadas (velocidade, amplitude antero-posterior e índice de braçada) entre nadadores paratletas com diferentes graus de severidade. A coordenação, amplitude do movimento, força e o amplitude antero-posterior do segmento do braço de acordo com o grau da severidade da deficiência física podem explicar essas diferenças (PELAYO *et al.*, 1999). Os resultados deste estudo mostraram uma reconstrução de imagem confiável para a trajetória da braçada em nadadores com deficiência.

Reprodutibilidade inter e intra-avaliador do rastreamento semiautomático do deslocamento do quadril do nadador

A alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador do rastreamento automático sugere boa aplicabilidade do método. Estes resultados indicam um

procedimento preciso que reduz o tempo de processamento e está em acordo com Slawson et al. (2010), que não encontrou diferença significativa entre o ângulo de saída e virada medido por digitalização manual e rastreamento automático.

Esses achados são muito importantes, pois a cinemática requer um processamento extensivo de dados (principalmente na perspectiva 3D), o que é tedioso (SCHREVEN *et al.*, 2015) e atrasa a resposta da análise. Assim, o uso de marcadores ativos podem acelerar o feedback para treinadores e nadadores. Nesta visão, um erro de 1mm na trajetória é intrínseco à medida e somente mudanças maiores que 4mm podem ser consideradas reais e não variabilidade da mensuração.

Os gráficos de Bland-Altman apresentaram ótimos limites de concordância e os viés de todas as coordenadas de ambos os quadris foram próximos de zero. A máxima diferença entre os métodos para a velocidade foi de $0,47\text{m.s}^{-1}$ e apenas 5% dos resultados encontraram-se fora dos limites de concordância. Sugere-se acompanhamento visual e aplicação de um filtro para redução destes outliers quando reconstrução semiautomática for utilizada.

O número de câmeras reduzido não permitiu a identificação dos marcadores durante toda a trajetória (deslocamento do quadril durante um ciclo de braçada), que deixou um intervalo de 10 quadros (11% do ciclo) e compreende uma limitação do estudo. No entanto, este evento ocorreu em ambos os métodos (manual e automático). Além disso, durante o rastreamento automático, aproximadamente 14% dos quadros exigiram ajustes manuais (quando o marcador foi perdido pelo sistema), bem como o arrasto passivo introduzido pelos marcadores não foi avaliado.

Precisão da mensuração subaquática pela variância entre o cálculo da reconstrução e o amplitude antero-posterior real do antebraço

O RMS para precisão foi maior do que achados anteriores para análises fora do ambiente aquático (GOURGOULIS *et al.*, 2008; FIGUEIREDO *et al.*, 2011; SILVATTI *et al.*, 2013). Isto pode ser explicado devido à distorção da

imagem na água. Em adição, Gourgoulis et al. (2008) observaram menor erro de precisão subaquático em relação ao presente estudo (variando de 4,5 e 5,92mm para resultante em dois volumes diferentes). O grande volume de calibração utilizado nesta pesquisa talvez explique os resultados, uma vez que grandes áreas calibradas aumentam erros de reconstrução tridimensional. Isto pode estar relacionado com a imagem reduzida do nadador em relação à dimensão do volume de calibração (GOURGOULIS *et al.*, 2008). No entanto, grande extensão de volume é necessária quando se deseja analisar mais de uma braçada (por exemplo, avaliação de simetria entre braçadas direita e esquerda, variação de velocidade entre ciclos, etc.). Além disso, volume de calibragem deve ser suficiente para permitir que o nadador realize um ciclo completo de braçada dentro da área calibrada (LAUDER *et al.*, 1998).

Os resultados do presente estudo podem ser considerados adequados para a cinemática tridimensional de nadadores com deficiência. Estes resultados são importantes, especialmente devido ao uso de câmeras comerciais. De fato, estas câmeras são de baixo custo, portáteis e permitem alta resolução e velocidade durante gravações subaquáticas (BERNARDINA *et al.*, 2016). Esta câmara tem sido previamente utilizada para análise cinemática na natação (MCDONNELL *et al.*, 2012; SILVATTI *et al.*, 2013; BERNARDINA *et al.*, 2016). Silvatti et al. (2013), encontraram um erro de precisão de 9,72mm usando as mesmas câmeras enquanto aplicava a reconstrução clássica de DLT. Os autores também relataram maior precisão ao usar diferentes abordagens de calibração. Este estudo utilizou um método padrão de calibragem pela Transformação Linear Direta, que se baseia em um volume pré-definido conhecido (CHEN *et al.*, 1994; GOURGOULIS *et al.*, 2008; FIGUEIREDO *et al.*, 2011). Além disso, a reprodutibilidade inter e intra-avaliador e precisão foram determinadas durante o desempenho do movimento de uma braçada real, em vez de uma barra rígida que geralmente é utilizada (SILVATTI *et al.*, 2012; CECCON *et al.*, 2013) e que pode não refletir todas as características do nado (SCHREVEN *et al.*, 2015). Por instante, estimativas obtidas em uma condição mais realista podem incluir pequenos movimentos provocados pela movimentação dos tecidos moles (BARRÉ *et al.*, 2015) e

podem ser maiores do que aqueles obtidos em condições não realistas, que são menos propensos as situações do mundo real (ou seja, barras rígidas).

5.5 Conclusão

O estudo mostrou alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador da digitalização manual e semiautomática. A precisão verificada pode ser considerada aceitável para análise subaquática. Isto é importante, devido ao fato de que as câmeras possuem características que são apropriadas para análises de movimento, são de baixo custo, portáteis e podem ser uma ferramenta útil para avaliar cinemática de nadadores com e sem deficiência.

Marcadores ativos são promissores para avaliação da cinemática tridimensional dos nadadores em larga escala com resposta mais rápida do que o processamento da digitalização manual comum.

Em suma, o método utilizado na mensuração cinemática pareceu ser adequado e garante confiabilidade dos dados analisados nos estudos subsequentes.

CAPITULO V

CINEMÁTICA DO NADO DE ATLETAS COM E SEM DEFICIÊNCIA

5 Cinemática de nado de atletas com e sem deficiência

5.1 Introdução

A melhoria no desempenho de nado depende dos gestos técnicos aplicados pelos nadadores (NIKODELIS *et al.*, 2005). Dessa forma, a análise cinemática dos padrões de movimento da natação tem se tornando cada vez mais popular, uma vez que pode ser utilizada para o aperfeiçoamento do desempenho (MCCABE *et al.*, 2011; MCCABE e SANDERS, 2012; CECCON *et al.*, 2013), principalmente pela identificação e correção de erros.

A distância percorrida por ciclo de braçada e a frequência de braçada têm sido as variáveis mais empregadas por treinadores e atletas para o monitoramento da performance do nado (CASTRO *et al.*, 2005; MATOS *et al.*, 2013). De fato, a velocidade de nado resulta do produto da distância percorrida e da frequência das braçadas. Logo, a adequada relação entre essas variáveis resulta em uma velocidade máxima de nado ($V_{\text{máx}}$) (CHOLLET *et al.*, 1997; SMITH *et al.*, 2002; CASTRO *et al.*, 2005). Nadadores de elite distinguem-se dos iniciantes por empregarem maior distância e menor frequência de braçada, o que permite maior economia de energia no nado (NIKODELIS *et al.*, 2005). Essas variáveis são objetivas e de fácil obtenção, uma vez que são mensuradas no plano bidimensional e não necessitam de dispositivos impermeáveis. De fato, a complexidade de captura de movimentos subaquáticos limitam análises adicionais sob uma perspectiva multidimensional, que incluam variáveis relativas à amplitude médio-lateral, amplitude antero-posterior e amplitude vertical da braçada em sua fase submersa.

Apesar de análises que envolveram aspectos tridimensionais durante o nado terem descrito o comportamento de um conjunto de variáveis do desempenho (CESERACCIU *et al.*, 2011; MCCABE e SANDERS, 2012; PUEL *et al.*, 2012; FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013), análises que diferenciam os nadadores de menor e maior proficiência ainda são necessários, assim como avaliação de tais variáveis entre os nadadores com deficiência física. As

restrições físicas e motoras de paratletas precisam ser analisadas com cautela, dado que suas características podem ser distintas em relação aos atletas e impor desafios específicos (FULTON *et al.*, 2010). Pode-se citar como exemplo, a maior dificuldade na adoção de um alinhamento corporal que minimize arrasto passivo. De fato, Oh *et al.*, (2013) reportaram que quanto maior a severidade da deficiência, maior é a força resistida enfrentada. Assim, técnicos e pesquisadores da área devem tomar cuidado com generalizações (SATKUNSKIENE *et al.*, 2005) e evidenciar cientificamente analogias realizadas (TAYLOR *et al.*, 2016).

Em virtude dos diferentes níveis de acometimento apresentado pelos paratletas, uma particularidade do paradesporto é a necessidade de uma divisão dos nadadores em classificação específica, ou seja, um agrupamento entre competidores com condições/restrições físicas ou motoras semelhantes (MALONE *et al.*, 2001; VITAL *et al.*, 2002). Em geral a classificação é baseada em um conjunto de fatores que incluem força, coordenação, amplitude de movimento e/ou amplitude antero-posterior de segmento (PELAYO *et al.*, 1999; BURKETT *et al.*, 2010) e da funcionalidade (TWEEDY e VANLANDEWIJCK, 2011). As classes variam entre 1 e 10, sendo que baixos valores representam maior comprometimento e elevados valores menor comprometimento (PELAYO *et al.*, 1999; FULTON, PYNE e BURKETT, 2009; OH, 2015). Assim, desempenhos comparáveis podem ser obtidos por atletas com diferentes acometimentos (SATKUNSKIENE *et al.*, 2005), dados que os atletas são agrupados equitativamente entre as classes. Por exemplo, atletas com amputação, lesão e paralisia cerebral podem ser agrupados em uma mesma classe (PELAYO *et al.*, 1999; WU e WILLIAMS, 1999; MALONE *et al.*, 2001). No entanto, há informações limitadas sobre parâmetros objetivos para apoiar o sistema de classificação atual (GEHLSSEN e KARPUK, 1992; OH *et al.*, 2013). Discrepâncias na classificação funcional de paratletas têm levado a controvérsias (GEHLSSEN e KARPUK, 1992; WU e WILLIAMS, 1999).

Gehlsen *et al.* (1992) determinaram a efetividade da classificação proposta pela “National Wheelchair Athletic Association” ao analisar os recordes dos quatro estilos de nado. Os resultados não suportaram totalmente o sistema de classificação, uma vez que não foram capazes de distinguir

classes subjacentes. Oh et al. (2013) indicaram que o corrente sistema de classificação proposto pelo Comitê Paralímpico Internacional (IPC) não diferenciam claramente classes adjacente em relação a força passiva de arrasto, embora nadadores das classes mais baixas experimentem as maiores forças de arrasto passivo e vice-versa (OH et al., 2013). Por outro lado, Wu e Williams (1999) afirmaram eficiência no sistema de classificação, visto que velocidade de nado foi correlacionada positivamente com as classes nas diferentes provas dos Jogos Paralímpicos de Atlanta e que não houve uma dominância de deficiência em termos de oportunidade de participação, conquista de medalhas e avanço para finais (WU e WILLIAMS, 1999). Fulton et al., (2009) também reportaram associação positiva entre aumento de classe funcional e média de tempo para conclusão da prova. Finalmente, Dingley et al. (2014), constataram maior velocidade de saída entre classes de deficiência menos severas quando comparado com classes de média e alta severidade.

Dados contraditórios sugerem que o sistema de classificação precisa de outros estudos para que seu propósito possa ser atingido. Assim, diferentes perspectivas de estudos fisiológicos e biomecânicos são necessárias a fim de identificar maiores detalhes sobre fatores inerentes a classificação (WU e WILLIAMS, 1999).

Este estudo apresentou dois objetivos principais. O primeiro objetivo do estudo foi comparar característica espaços-temporais da braçada entre nadadores de maior e menor proficiência a fim de determinar aspectos que caracterizam resultados mais expressivos. Foi presumida a hipótese de que nadadores de maior proficiência apresentariam maior velocidade de nado, distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, percentual de tempo despendido na fase subaquática, dimensões da braçada, sobreposição de braços e menor variação intracíclica da velocidade e frequência de braçada. O segundo objetivo do estudo foi descrever as variáveis de desempenho de nado dos paratletas e correlacionar os parâmetros técnicos do nado aplicado por eles com a classificação funcional proposta pelo Comitê Internacional Paralímpico, a fim de contribuir com dados objetivos para o suporte da classificação. As hipóteses relacionadas com o segundo objetivo do trabalho foram de que velocidade, distância média percorrida pelo corpo por ciclo de

braçada e percentual de tempo despendido na fase subaquática teriam correlação positiva com a classificação, enquanto frequência de braçada apresentaria uma correlação negativa com a mesma.

5.2 Metodologia

Participantes

Quarenta e dois nadadores de ambos os sexos, sendo 21 atletas da natação convencional ($18,5 \pm 3,78$ anos, $1,72 \pm 0,10$ m e $66,35 \pm 10,33$ kg) e 21 atletas com deficiência físico-motora ($19,2 \pm 2,82$ anos, $1,67 \pm 0,09$ m, $58,89 \pm 11,46$ kg) participaram deste estudo. Os critérios de inclusão compreenderam: (i) idade mínima de 15 anos, (ii) experiência competitiva mínima de três anos, (iii) treino com regularidade igual ou superior a 5 vezes semanais. Em adição, os paratletas deveriam possuir classificação de acordo com os critérios adotados pelo Comitê Paralímpico Internacional de classes entre S5 e S10. As deficiências compreenderam: amputação em nível do cotovelo, paralisia cerebral, mielomeningocele, paralisia de plexo braquial, artrogripose, dupla amputação de pernas em nível do joelho, malformação congênita, nanismo, espinha bífida. Nadadores que apresentaram cirurgia articulares recentes (inferior a 6 meses) foram excluídos da amostra.

O grupo de paratletas foi composto por 10 nadadores brasileiros e 11 nadadores britânicos, enquanto o grupo de atletas foi composto por 21 nadadores nacionais separados em 2 grupos segundo o índice técnico. Desta forma, os atletas foram alocados em grupo de melhor desempenho (G_{MIT} – 11 nadadores) e pior desempenho (G_{PIT} – 10 nadadores) de acordo com o índice técnico proposto pela Federação Internacional de Natação:

$$P=1000*(B/T)^3,$$

onde P se refere à pontuação, B ao recorde mundial da prova e T o tempo obtido pelo atleta. A média do índice técnico dos nadadores de maior

proficiência foi de 612 ± 93 pontos e dos nadadores de menor proficiência 427 ± 66 pontos. Os participantes e/ou pais ou responsáveis assinaram um termo de assentimento/consentimento livre e esclarecido. Os procedimentos das coletas de dados foram aprovados pelo Comitê de Ética Institucional.

Instrumentos e procedimentos

Os nadadores foram convidados a participar de uma única sessão de experimento realizada em uma piscina semiolímpica, coberta e aquecida ($\sim 28^{\circ}\text{C}$). Mensurações de um conjunto de medidas antropométricas (massa, estatura e envergadura) antecederam o procedimento experimental. Antes da realização do protocolo de nado os participantes foram familiarizados com os instrumentos de coleta (vestimenta e marcadores).

Após 600m de aquecimento não controlado, os nadadores foram instruídos a realizar repetições máximas de 50m em estilo de nado crawl com intervalo de 10 segundos entre as repetições pelo número de vezes que relatassem suportar. Todavia, para finalidade deste estudo, somente a primeira série máxima foi considerada para descartar possíveis efeitos da fadiga sobre o desempenho. Em adição, os nadadores foram solicitados a não respirar enquanto passavam pela área calibrada para desconsiderar possível influência da respiração no gesto. As saídas foram realizadas de dentro de piscina e os participantes receberam incentivo verbal durante o teste.

Os nadadores foram gravados por seis câmeras, das quais quatro capturaram imagens embaixo da água e duas acima. As câmeras foram sincronizadas por um meio de pulso de luz posicionado no campo visual de todas as câmeras. As câmeras utilizadas para a filmagem subaquática dos atletas e paratletas nacionais foram a GoPro Hero 4 com frequência de aquisição em 60 Hz, enquanto os paratletas britânicos foram filmados por câmeras Sony HQ-DNR-1 conectadas a uma unidade de exibição visual (GV-HD700), com frequência de aquisição de 50 Hz. A filmadora Sony HDR CX700 foi utilizada para as gravações acima da água entre todos os participantes (com frequência de 30Hz) e foi utilizada apenas como checagem, uma vez que somente a fase submersa da braçada foi reconstruída. Duas câmeras foram

posicionadas na diagonal do lado direito do nadador e duas do lado esquerdo com ângulos aproximados de 90° entre si. Cada câmera focou em um volume previamente calibrado na piscina com uma moldura de 3,5m de amplitude antero-posterior (x), 1,0m de largura (y) e 1,5m de amplitude vertical (z) com 54 pontos de controle debaixo d'água e 36 acima da água (Figura 5.1).

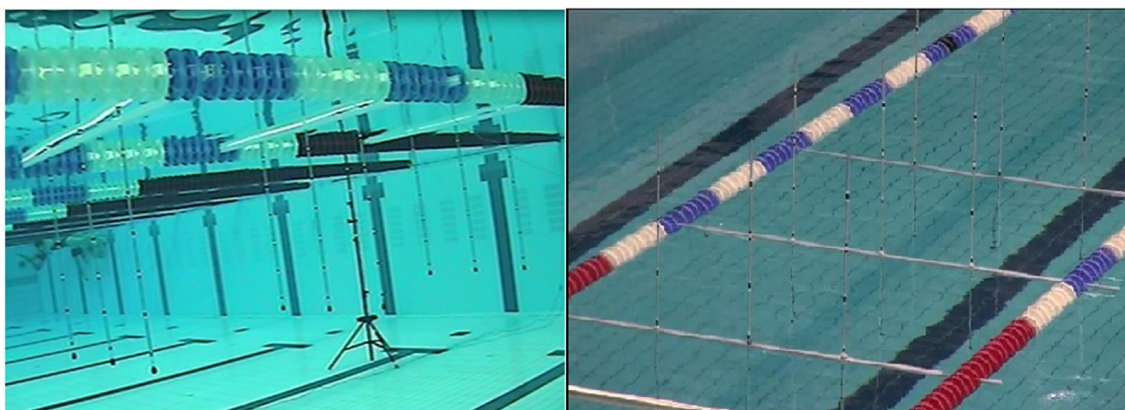


Figura 5.1 - Representação da estrutura de calibragem

Um conjunto de marcadores foi posicionado nos hemisférios direito e esquerdo sobre os seguintes acidentes anatômicos: falange distal do 3º metacarpo, processo estilóide da ulna, epicôndilo lateral do úmero, trocânter maior do fêmur. Todavia, a propósito deste estudo, apenas os acidentes da falange distais do 3º metacarpo e do trocânter femoral do lado dominante foram utilizadas.

As demarcações utilizadas nos paratletas britânicos e nos atletas nacionais foram realizadas com desenhos esféricos de diâmetro aproximado em 25mm, através de pincel atômico com tinta à prova d'água. Enquanto que os marcadores utilizados nos paratletas nacionais foram constituídos por luz de LED fixados em um traje especialmente confeccionado para esta pesquisa. Maiores detalhamentos sobre os marcadores de LED, assim como reprodutibilidade inter e intra-avaliador de suas medidas, são encontrados no Estudo 1.

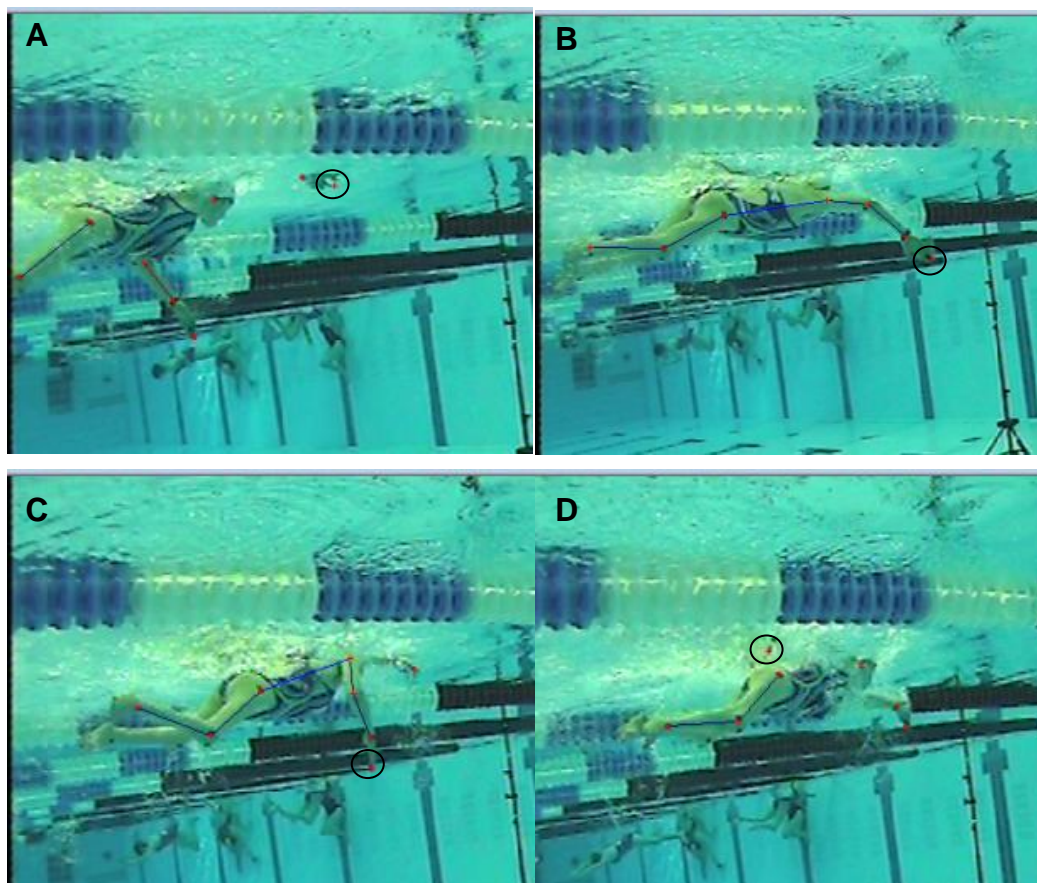
Os acidentes anatômicos foram digitalizados manualmente entre os marcadores desenhados sobre a pele e os pontos de LED foram reconstruídos de maneira semiautomática a partir da vista de cada câmera por um software específico para análises cinemáticas (SIMI Reality Motion Systems). As

coordenadas bidimensionais foram filtradas a 7 Hz usando um filtro Butterworth de passa baixa (2ª ordem) e depois convertidas em coordenadas tridimensionais usando um algoritmo DLT (SILVATTI *et al.*, 2013).

Um ciclo completo de braçada foi analisado, definido pela entrada de um dos segmentos superiores na água até próxima entrada do mesmo seguimento na água. O ciclo foi dividido em 4 fases segundo adaptação de Payton *et al.* (1999) (PAYTON *et al.*, 1999):

1. Varredura para baixo (VB): da entrada da mão na água até posição mais lateral da braçada.
2. Varredura para dentro (VD): do final da primeira fase até a posição mais medial da braçada.
3. Varredura para cima (VC): do final da varredura para dentro até a saída da mão da água.
4. Fase recuperativa (Frec): a partir da saída da mão da água até sua próxima entrada.

A soma das três primeiras fases (ED, VD e VC) corresponde à fase subaquática da braçada (Fsub). Os limites de cada fase da braçada são ilustrados na Figura 5.2.



Nota: A – entrada da mão na água; B - máximo ponto lateral da braçada; C – máximo ponto medial da braçada; D – saída da mão da água.

Figura 5.2 - Ilustração dos limites das fases da braçada de uma paratleta (S8).

As seguintes variáveis cinemáticas foram utilizadas para descrever as ações do nado:

- Velocidade de nado (Vel): produto entre a frequência de braçada e a distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçada.
- Frequência de braçada (Fbr): calculada pela extrapolação do número de ciclos por minuto, através do tempo despendido para realizar uma única braçada.
- Distância média percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas (Dbr): distância percorrida pelo corpo durante a entrada de uma mão na água até à próxima entrada da mesma mão.
- Índice de nado (IN): produto entre o Dbr e a Vel.

- Variação intracíclica da velocidade (VIV): estimada pelo coeficiente de variação da velocidade de progressão do quadril (razão entre o desvio padrão da velocidade média do deslocamento do quadril no eixo x, pela média da velocidade do quadril no mesmo eixo durante um ciclo de braçada)
- Amplitude médio-lateral da braçada subaquática (A_{M-Lbr}): deslocamento do eixo y pela diferença entre maior posição lateral e medial.
- Amplitude vertical da braçada (A_{Vbr}): deslocamento do eixo z entre a entrada da mão na água até o ponto mais profundo.
- Amplitude antero-posterior da braçada subaquática (A_{A-Pbr}): deslocamento no eixo x pela diferença das posições de entrada e saída da mão durante a fase subaquática.
- Percentual de tempo despendido na fase submersa (F_{sub}): tempo percentual entre a entrada da mão na água e sua saída em relação ao tempo total do ciclo de braçada.
- Índice de coordenação (IdC): adaptado de Chollet et al. (200), considerando o percentual de oposição de braçadas ($IdC=0$), lapso temporal ($IdC<$) ou sobreposição de braços ($IdC>1$) na fase propulsiva ($VD + VC$).
- Velocidade média da mão na fase subaquática ($V_m M_{sub}$): razão entre a trajetória resultante da fase subaquática e o tempo despendido para completar a fase submersa.
- Velocidade média da mão em cada fase submersa da braçada: razão entre a trajetória resultante de cada fase subaquática, isto é, entrada e varredura para baixo ($Vel_m VB$), varredura para dentro ($Vel_m VD$) e varredura para cima ($Vel_m VC$), e o tempo despendido para completar cada fase.

Estatística

A normalidade das variáveis foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade pelo teste de Levene. Test t-Student para amostras independentes foi utilizado para comparação dos grupos entre as variáveis paramétricas. Análise não paramétrica (U de Mann-Whitney) foi preferida sempre que não foi possível confirmar a normalidade e homogeneidade dos dados. Estatística descritiva (média e desvio padrão) e coeficiente de correlação Tau de Kendall entre classificação funcional e parâmetros da braçada (Vel, Fbr, Dbr e Tsud) foram determinados. O tamanho do efeito foi calculado considerando a razão entre a diferença das médias e seus desvios-padrões (THALHEIMER e COOK, 2002). Análise estatística foi realizada usando um software específico (Statistica, versão 7, Statsoft) com nível de significância adotado em $p < 0,05$.

5.3 Resultados

Os grupos de maior (G_{MIT}) e menor (G_{PIT}) índice técnico não apresentaram diferenças antropométricas significativas (estatura: $1,75 \pm 0,09$ e $1,68 \pm 0,11$; envergadura: $1,81 \pm 0,10$ e $1,73 \pm 0,15$ m; massa: $68,18 \pm 10,93$ e $64,30 \pm 9,77$ kg; $p > 0,05$). G_{MIT} foi aproximadamente 11% mais veloz que o grupo de menor proficiência, apresentou uma distância percorrida pelo corpo durante a braçada 11% maior, braçada 26% mais larga e 13% mais profunda. Em adição, a varredura para dentro e o total da fase subaquática foram mais velozes entre os nadadores mais proficientes. A comparação dos parâmetros do nado está indicada na tabela 5.1.

Tabela 5.1 – Comparação dos parâmetros do nado entre grupos de maior (G_{MIT}) e menor (G_{PIT}) índice técnico

| | G_{MIT} (11) | G_{PIT} (10) | p | d |
|---|------------------|------------------|---------|------|
| Vel ($m.s^{-1}$) | $1,60 \pm 0,15$ | $1,42 \pm 0,18$ | 0,004** | 1,11 |
| Dbr (m) | $1,91 \pm 0,21$ | $1,71 \pm 0,26$ | 0,041* | 0,87 |
| Fbr (ciclos.min⁻¹) | $49,24 \pm 4,05$ | $48,00 \pm 5,01$ | 0,751 | 0,28 |
| IN | $3,06 \pm 0,31$ | $2,43 \pm 0,47$ | 0,010* | 0,52 |
| A_{A-Pbr} (m) | $0,70 \pm 0,15$ | $0,68 \pm 0,12$ | 0,724 | 0,15 |
| A_{M-Lbr} (m) | $0,39 \pm 0,12$ | $0,29 \pm 0,10$ | 0,048* | 0,93 |
| A_{Vbr} (m) | $0,70 \pm 0,16$ | $0,61 \pm 0,09$ | 0,017* | 0,71 |
| Fsub (%) | $68,71 \pm 4,29$ | $69,84 \pm 4,05$ | 0,526 | 0,28 |
| IdC | $0,82 \pm 5,42$ | $0,27 \pm 4,02$ | 0,407 | 0,38 |
| Vel_mVB ($m.s^{-1}$) | $2,03 \pm 0,50$ | $1,70 \pm 0,32$ | 0,289 | 0,81 |
| Vel_mVD ($m.s^{-1}$) | $2,31 \pm 0,29$ | $1,97 \pm 0,30$ | 0,060 | 1,18 |
| Vel_mVC ($m.s^{-1}$) | $2,57 \pm 0,44$ | $2,30 \pm 0,20$ | 0,035* | 0,81 |
| Vel_mSub ($m.s^{-1}$) | $2,38 \pm 0,29$ | $2,06 \pm 0,22$ | 0,009** | 1,27 |
| VIV | $0,21 \pm 0,08$ | $0,22 \pm 0,08$ | 0,821 | 0,14 |

Nota: Vel - velocidade de nado; Dbr - distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, Fbr - frequência de braçada; IN – índice de nado; A_{A-Pbr} - amplitude antero-posterior da braçada submersa; A_{M-Lbr} - amplitude médio-lateral da braçada submersa; A_{Vbr} - amplitude vertical da braçada; Fsub - percentual de tempo submerso da braçada, IdC - índice de coordenação, Vel_mVB - velocidade na fase de varredura para baixo; Vel_mVD - velocidade na fase de varredura para dentro; Vel_mVC velocidade na fase de varredura cima; Vel_mSub - velocidade na fase subaquática e VIV - variação intracíclica da velocidade. *p<0,05, **p<0,01

Entre os paratletas, a velocidade média de nado foi $1,17 \pm 0,23m.s^{-1}$, distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada $1,47 \pm 0,25m$, frequência de braçada $47,95 \pm 5,00$ ciclos.min⁻¹ e o percentual médio de tempo despendido na fase subaquática $69,59 \pm 4,79\%$. As correlações entre estes parâmetros de nado e a classificação funcional proposta pelo Comitê Paralímpico Internacional são apresentadas na Figura 5.3. A velocidade de nado e distância percorrida pelo corpo durante a braçada apresentaram correlação positiva moderada ($p < 0,05$) com a classificação funcional. A frequência de braçada não apresentou correlação significativa com a classificação da IPC e o percentual de tempo despendido na fase subaquática apresentou uma correlação fraca.

Parâmetros de nado x Classificação funcional

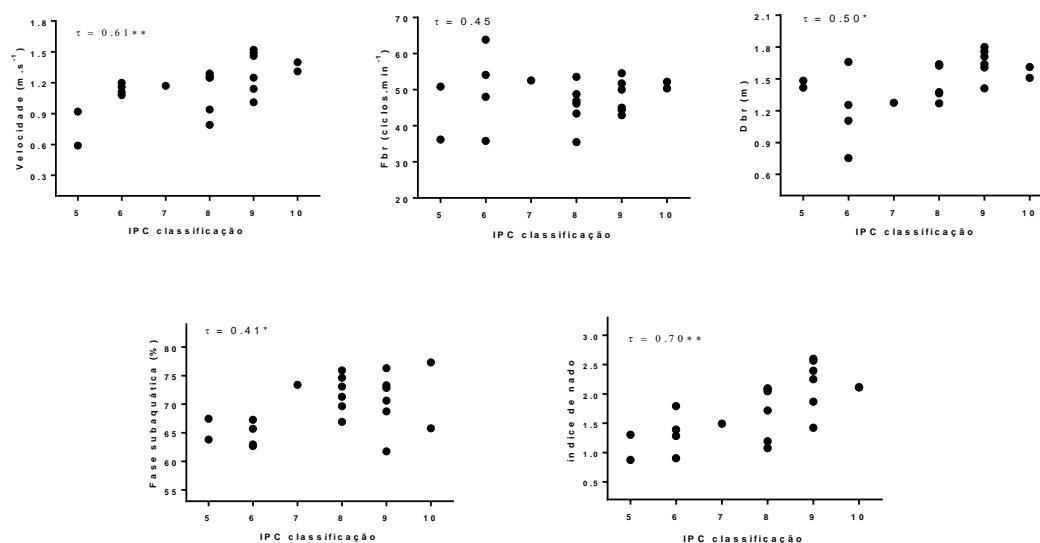


Figura 5.3 - Correlação entre classificação funcional e parâmetros do nado (velocidade, frequência de braçada, distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e percentual de tempo despendido na fase subaquática).

Os aspectos da braçada subaquática apresentaram considerável variabilidade entre os nadadores, com uma amplitude médio-lateral variando entre 0,16 a 0,42m e a amplitude vertical entre 0,51 a 0,85m. O amplitude antero-posterior da braçada subaquática variou entre 0,41 a 0,75. Metade dos paratletas apresentaram lapso temporal entre fases propulsivas da braçada ($IdC < 1$), 45% sobreposição de braçada e apenas 1 nadador coordenação de oposição de braços (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 – Valores individuais, média, desvio padrão e valores máximo e mínimo dos parâmetros da braçada entre os paratletas.

| Part | Class | A _{A-Pbr} (m) | A _{M-Lbr} (m) | A _{Vbr} (m) | IdC |
|----------------|-------|------------------------|------------------------|----------------------|-------------|
| P1 | S5 | 0,58 | 0,32 | 0,70 | -10 |
| P2 | S5 | 0,55 | 0,33 | 0,64 | 6 |
| P3 | S6 | 0,55 | 0,23 | 0,72 | -7 |
| P4 | S6 | 0,50 | 0,16 | 0,60 | 0 |
| P5 | S6 | 0,55 | 0,30 | 0,63 | -1 |
| P6 | S6 | 0,57 | 0,18 | 0,51 | 4 |
| P7 | S7 | 0,69 | 0,42 | 0,85 | -1 |
| P8 | S7 | 0,41 | 0,24 | 0,54 | - |
| P9 | S8 | 0,67 | 0,40 | 0,68 | 6 |
| P10 | S8 | 0,59 | 0,32 | 0,68 | -7 |
| P11 | S8 | 0,75 | 0,36 | 0,63 | 3 |
| P12 | S8 | 0,63 | 0,31 | 0,82 | -5 |
| P13 | S8 | 0,50 | 0,41 | 0,63 | -7 |
| P14 | S8 | 0,60 | 0,32 | 0,75 | 8 |
| P15 | S9 | 0,31 | 0,24 | 0,51 | 10 |
| P16 | S9 | 0,72 | 0,20 | 0,82 | -5 |
| P17 | S9 | 0,44 | 0,33 | 0,85 | -8 |
| P18 | S9 | 0,68 | 0,24 | 0,72 | 8 |
| P19 | S9 | 0,50 | 0,32 | 0,64 | 9 |
| P20 | S10 | 0,65 | 0,16 | 0,62 | -7 |
| P21 | S10 | 0,65 | 0,30 | 0,64 | 7 |
| Mediana | | 0,58 | 0,31 | 0,64 | -0,5 |
| Média | | 0,58 | 0,29 | 0,68 | 0,16 |
| DP | | 0,11 | 0,08 | 0,10 | 6,94 |
| Máximo | | 0,75 | 0,42 | 0,85 | 10 |
| Mínimo | | 0,31 | 0,16 | 0,51 | -10 |

Nota: Um dos paratletas (S7) possui paralisia no braço esquerdo, por tanto, índice de coordenação não foi calculado.

Part – participantes; class – classificação funcional; A_{A-Pbr} - amplitude antero-posterior da braçada submersa; A_{M-Lbr} - amplitude médio-lateral da braçada submersa; A_{Vbr} - amplitude vertical da braçada; IdC - índice de coordenação.

A velocidade média da mão durante a varredura para baixo nos paratletas foi de $1,80 \pm 0,29 \text{ m.s}^{-1}$, durante a varredura para dentro $2,04 \pm 0,59 \text{ m.s}^{-1}$ e varredura para cima $2,28 \pm 0,36 \text{ m.s}^{-1}$. A velocidade média da mão em toda a fase submersa foi de $2,10 \pm 0,24 \text{ m.s}^{-1}$. Por fim, a variação intracíclica da velocidade foi de $0,24 \pm 0,09$. A classificação funcional não apresentou correlação significativa com a velocidade da mão em nenhum instante da braçada ou com a variação intracíclica da braçada (r entre -0,11 e 0,36; $p > 0,05$).

5.4 Discussão

Este estudo comparou parâmetros cinemáticos tridimensionais em nadadores de maior e menor proficiência e correlacionou parâmetros de nado nos nadadores com deficiência físico-motoras e a classificação funcional de nado.

Conforme o esperado, a velocidade média de nado foi maior no grupo de maior proficiência, dado que a divisão foi realizada através do índice técnico, o qual considera o tempo de desempenho da prova - definido pela velocidade de nado. A distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada foi maior nos nadadores de melhor proficiência, o que reforça os achados da literatura (NIKODELIS *et al.*, 2005; SCHNITZLER *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2012; NASIRZADE *et al.*, 2015). De fato, maior distância percorrida por ciclo de braçada para uma dada velocidade representa um nado mais técnico (CHOLLET *et al.*, 1997; NIKODELIS *et al.*, 2005) refletido no maior índice de nado. Por outro lado, a frequência de braçada não diferiu entre os grupos.

Enquanto a distância percorrida por ciclo de braçada é empregada para obtenção de maior velocidade, a frequência pode apresentar diferentes estratégias. Alguns estudos têm demonstrado frequência de braçada constante para manutenção da velocidade no decorrer da prova, (CHOLLET *et al.*, 1997), outros têm reportado aumento (ALBERTY *et al.*, 2009) e outros diminuição na frequência (SEIFERT, BOULESTEIX, *et al.*, 2005; TOUSSAINT *et al.*, 2006; SANTOS *et al.*, 2017). Esses dados demonstram a ausência de um padrão totalmente estabelecido para a frequência de braçadas em elevadas performances. Essa variável parece não distinguir claramente os grupos de melhor e pior desempenho e pode não constituir a melhor variável preditora do nado. Assim, a velocidade de nado parece ser mais suscetível à distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada do que pela sua frequência (SATAKUNSKIENE *et al.*, 2005).

Esperava-se que os nadadores de maior desempenho apresentassem menor amplitude antero-posterior da trajetória subaquática (deslocamento no eixo x), todavia esta suposição não foi confirmada. Apesar da similaridade na

distância percorrida pela braçada na fase subaquática, o menor tempo despendido para sua execução indica maior velocidade da mão, o que resulta em maior velocidade de nado do grupo mais proeficiente.

A amplitude médio-lateral da braçada observada do grupo de menor desempenho foi ligeiramente menor que a reportada por Payton e colaboradores (1.999) (29cm versus 27 respectivamente), enquanto a amplitude vertical foi consideravelmente menor (61 versus 79cm). Por outro lado, a amplitude médio-lateral e amplitude vertical da braçada verificada entre o grupo de maior desempenho ($0,39 \pm 0,12$ e $0,70 \pm 0,16$ m) estão em linha com os resultados apontados por McCabe e colaboradores (2011) ($0,39 \pm 0,01$ m e $66 \pm 0,01$ m). Amplitude médio-lateral e amplitude vertical podem ser influenciadas por aspectos como: ângulo do cotovelo, o amplitude antero-posterior do braço e rolamento de tronco. A similaridade do perfil antropométrico apresentado pelos grupos (estatura e envergadura) descarta o amplitude antero-posterior do segmento como principal responsável pelas diferenças apontadas. Por outro lado, a habilidade técnica dos nadadores parece possuir relação com tais variáveis, uma vez que os nadadores mais proficientes apresentaram braçadas mais largas e profundas. Talvez braçadas mais rasas e estreitas gerem uma alavanca desfavorável em torno dos segmentos superiores e podem também aumentar as forças de arrasto pela turbulência da água gerada próximo ao corpo. Todavia, não é possível pressupor que quanto mais ampla e profunda for à braçada, melhor será o desempenho, uma vez que alavancas aumentadas podem prejudicar a geração de forças propulsivas e gerar desvios no vetor do deslocamento do nadador. Amplitude médio-lateral ao redor de 0,39m com amplitude vertical próxima a 0,70m pareceram ser mais vantajosa entre os nadadores avaliados.

Os grupos apresentaram relação similar de porcentagem para o tempo despendido na fase subaquática ($p>0,05$). O percentual de tempo está de acordo com os valores reportados por Gourgoulis e colaboradores (70,67%) (GOURGOULIS *et al.*, 2010). Consumir maior tempo na fase subaquática em relação a fase recuperativa parece ser conveniente, devido a propulsão da braçada acontecer principalmente durante as varreduras para dentro e para cima da fase subaquática. De fato, Chollet *et al.*, (2000) apontaram um

percentual para tempo despendido na fase subaquática maior do que o presente estudo (~75%) quando avaliou nadadores de melhor desempenho (CHOLLET *et al.*, 2000). Todavia, os nadadores menos do presente estudo apresentaram relação de mais de dois terços do percentual da braçada despendido na fase subaquática. Logo, a duração da fase subaquática não foi suficiente para discriminar os nadadores do presente estudo.

Ambos os grupos apresentaram média de índice de coordenação de oposição ($-1\% > IdC < 1\%$). Estes dados estão de acordo com os verificados por Seifert *et al.* (2007) para nadadores de média e baixa velocidade em prova de 100m e média de nadadores de diferentes níveis em prova de 50m reportados por Chollet *et al.* (2000). Em adição os valores são maiores daqueles reportados por Alberty *et al.* (2009) em testes de exaustão. Todavia, os desvios-padrões das médias, indicam que não foram todos os nadadores que apresentaram índice de oposição, mais sim, que dentro dos grupos os três modelos de coordenação foram observados. A hipótese de que o grupo de maior desempenho apresentaria maior índice de coordenação não foi confirmada.

A mão experimentou incrementos de velocidade sucessivos em cada uma das fases subaquáticas (vide Tabela 5.1) o que esta de acordo com a literatura, que descreve o padrão da braçada com incremento de velocidade progressivo não linear (MAGLISCHO, 2003). Quando comparado à velocidade das fases separadamente nos grupos, as fases de varredura para cima e para dentro foram mais rápida no grupo de maior desempenho, o que indica que incrementos na performance podem ser obtidos por incrementos na velocidade da mão nestas fases. De fato, as varreduras para dentro e para cima correspondem basicamente a puxada e empurrada da mão na água, as quais são consideradas como principais ações propulsivas do nado (CHOLLET *et al.*, 2000; TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009), além disso, a aceleração ao final da braçada é considerada fundamental para elevados desempenhos do nado (SAMSON *et al.*, 2015).

Variação intracíclica da velocidade da progressão do quadril não diferiu entre os grupos, portanto a hipótese de que os nadadores de maior índice técnico apresentariam menor variação na velocidade de seu deslocamento não

foi confirmada. Talvez a diferença de desempenho entre os grupos de nadadores não seja suficiente para expressar tal diferença. Os resultados encontrados no presente estudo estão em linha com os achados reportados por Figueiredo et al. (2012) e Psycharakis et al. (2010) para variação intracíclica da velocidade do centro de massa (0,22). A estimativa desta variável através de um ponto fixo no quadril é indicada como uma alternativa simples e de resposta rápida (TAKAGI et al., 2004; FERNANDES et al., 2012), mas as comparações devem ser ponderadas, uma vez que a dinâmica do deslocamento do centro de massa pode não corresponder na íntegra com o a demarcação do quadril, o qual, devido sua característica fixa, representa de forma mais fidedigna o deslocamento do corpo do nadador.

Desempenho de nado de paratletas e classificação funcional

Parâmetros do nado têm sido frequentemente estudados entre atletas de elite (CRAIG e PENDERGAST, 1979; SMITH *et al.*, 2002; FIGUEIREDO *et al.*, 2015), todavia, poucos são os relatos de tais parâmetros em nadadores com deficiência (PELAYO *et al.*, 1999; OSBOROUGH *et al.*, 2009; LEE *et al.*, 2014). A distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e frequência de braçada observadas no presente estudo para os nadadores deficientes físicos estão em linha com os resultados obtidos por Pelayo et al., (1999) para paratletas de elite quando considerado as mesmas classes - S5 a S10 (média Dbr = 1,44 m; Fbr = 50,0 ciclos.min⁻¹, velocidade de nado = 1,19 m.s⁻¹). Todavia, esta comparação deve ser cautelosa uma vez que os parâmetros reportados por Pelayo e colaboradores foram determinados durante prova de 100m, enquanto o presente estudo avaliou 50m.

A grande variabilidade observada entre os parâmetros do nado dos paratletas pode ser reflexo das características individuais da deficiência (OSBOROUGH *et al.*, 2010), estado de treinamento e habilidade dos nadadores. Apesar da variabilidade entre as classes, foi possível observar uma relação entre quatro dos parâmetros avaliados com a classificação (Dbr, Vel, Fsub e IN).

Estes resultados suportam a classificação vigente, uma vez que quanto maior a velocidade de nado, distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e percentual de tempo despendido na fase subaquática e índice de nado, maior será o estrato de classificação, ou seja, menor a severidade da deficiência. O modo com que a classificação é determinada talvez explique os resultados, uma vez que considera a amplitude de movimento, força e coordenação. Esses elementos são relacionados com a habilidade do nadador em estender o braço à frente durante a entrada do segmento, bem como durante a finalização da fase subaquática com a completa extensão do braço. Tais amplitudes de movimento impactam sobre a distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, a velocidade de nado e consequentemente o índice de nado. Em adição, uma maior duração relativa da fase subaquática parece ser mais efetiva, uma vez que, quanto mais longa a fase subaquática (percentualmente) maior será a capacidade de aplicar força e gerar impulso. Em adição, Dingley et al (2014) observaram menor porcentagem de tempo despendido na fase subaquática entre os nadadores deficientes de classes mais baixa (DINGLEY, A. A. *et al.*, 2014).

A frequência de braçada por sua vez, não foi correlacionada com a classificação. Talvez o uso de diferentes estratégias para obtenção de velocidade máxima tenha sido utilizado como mecanismo compensatório pela deficiência física. Satkunskiene et al. (2005), sugerem que a distância percorrida por ciclo de braçada é melhor preditora de diferenças de velocidades para todas classes funcionais dos nadadores com deficiência. Em corroboração, no presente estudo, a distância percorrida por ciclo de braçada foi correlacionada moderadamente com o sistema de classificação ($r=0,55$) (SATKUNSKIENE *et al.*, 2005).

A amplitude médio-lateral da braçada média dos nadadores com deficiência foi ligeiramente menor do que a verificada entre os nadadores de maior proficiência. Estas diferenças podem ser explicadas pelo perfil antropométrico (DINGLEY, A. *et al.*, 2014) ou pela limitação de amplitude de movimento que geralmente está presente como consequência da deficiência, uma vez que limitações na flexibilidade podem prejudicar o desempenho, mesmo em nadadores sem deficiência (SANDERS *et al.*, 2011).

A amplitude vertical da braçada foi maior do que aquela identificada no grupo de nadadores de índice técnico inferior e similar aos atletas de maior desempenho. Em adição este parâmetro foi próximo aos exibidos por nadadores de alto nível sem deficiência (MCCABE *et al.*, 2011; MCCABE e SANDERS, 2012). Portanto, os paratletas apresentam amplitude vertical da braçada correspondente aquela encontrada em nadadores de performances elevadas e não foi capaz de diferenciar os nadadores paratletas de atletas.

A velocidade do deslocamento da mão dos paratletas apresentou aumento sucessivo em cada uma das fases submersas. Todavia, a velocidade das fases não foi correlacionada com a classificação funcional. Apesar dos valores médios de velocidade da mão em cada fase da braçada serem similares aos reportados pelo grupo de nadadores de menor proficiência, a velocidade do nado dos paratletas foi menor. Parece que a velocidade aplicada no deslocamento da mão dos nadadores com deficiência não está sendo otimizada para o deslocamento do corpo. Talvez os paratletas estejam aplicando esta velocidade com menor qualidade técnica. De fato, eficiência da mão no nado depende da direção, trajetória e ângulo de aplicação de força propulsiva (SCHLEIHAUF *et al.*, 1988; MAGLISCHO, 2003). Figueiredo *et al.* (2011) evidenciam que a eficiência da braçada resulta da razão entre a velocidade de nado e a média das velocidades das mãos. Uma vez que os paratletas apresentaram menor velocidade do corpo e similar velocidade da mão dos nadadores de menor índice técnico, assume-se que eles exibiram menor eficiência da braçada.

Ao nosso conhecimento, pela primeira vez, variação intracíclica da velocidade foi estimada entre nadadores deficientes físicos. Os valores foram ligeiramente maiores do que os encontrados para os nadadores sem deficiência o que pode influenciar no desempenho do nado. Considerável variação intracíclica da velocidade expõe os nadadores a forças resistidas elevadas devido à alternância de impulsos que afetam o custo energético do nado (BARBOSA *et al.*, 2008). Mais pesquisas sobre a variação intracíclica da velocidade de nado em paratletas precisam ser conduzidas para comparação de dados.

Nadadores de níveis de classificação funcionais mais baixas (isto é, S1-S4) não foram incluídos e compreendem uma limitação do estudo. Estudos que incluam ângulos de segmento articular e observem movimentos dos membros inferiores nas ações de pernada são necessários.

5.5 Conclusão

Maior velocidade, distância percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas, índice de nado, amplitude médio-lateral e amplitude vertical da braçada, com maior velocidade na execução da varredura para cima e na média do deslocamento da mão subaquática, demonstraram ser as variáveis que distinguem os nadadores mais proficientes. Treinadores e atletas devem enfatizar a prática e aprimoramento de tais variáveis para melhoria do desempenho.

Para os paratletas, a velocidade, a distância percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas, o percentual de tempo despendido na fase subaquática e o índice de nado foram correlacionados com a classificação funcional e compreendem variáveis objetivas que podem ser utilizadas como parâmetros para a divisão das classes.

Uma série de características da braçada através de uma análise tridimensional foi descrita e pode ser utilizada em futuras comparações. Por fim, a velocidade do deslocamento da mão entre os paratletas não foi correlacionada com a classificação funcional e pode ser um ponto crítico para a performance de alto nível, visto que a velocidade da mão entre as fases subaquáticas foram similares ao grupo de nadadores sem deficiência de menor índice técnico, mas a velocidade de nado foi inferior. Assim, a otimização na direção e velocidade de deslocamento da mão parece ser necessário.

CAPÍTULO VI

SIMETRIA DA BRAÇADA EM ATLETAS E PARATLETAS DE NATAÇÃO DURANTE O NADO CRAWL

6. Simetria da braçada em atletas e paratletas de natação durante o nado crawl

Introdução

O nado crawl envolve coordenação alternada (NIKODELIS *et al.*, 2005), composta por uma fase propulsiva e uma fase de recuperação, que dependem da proficiência de cada segmento para impulsionar o corpo do nadador à frente e determinam o desempenho. Apesar de a natação ser atribuída como um esporte simétrico (GOZLAN *et al.*, 2006), com alternância de braçada para o nado crawl, a simetria entre hemicorpos não é garantida (ALBERTY *et al.*, 2009; TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009). De fato, assimetrias cinéticas (DOS SANTOS *et al.*, 2013; MOROUÇO *et al.*, 2015), de coordenação de braço (SEIFERT, CHOLLET, *et al.*, 2005; ALBERTY *et al.*, 2009) e rolamento do ombro e quadril (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008) têm sido observadas, embora não haja um consenso concludente sobre sua causalidade, que podem envolver déficit de controle motor (CHOLLET *et al.*, 2000), dominância (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008; TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009) ou fatores associados à própria técnica da respiração e do posicionamento da cabeça (SEIFERT *et al.*, 2008).

Pequenas diferenças de força entre hemicorpos são consideradas aceitáveis e inerentes ao corpo humano (JASZCZAK, 2008), todavia, diferenças maiores que 10% têm sido consideradas como assimetrias funcionais (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008; EVERSHED *et al.*, 2014) que requerem estratégias compensatórias (EVERSHED *et al.*, 2014). A mesma porcentagem tem sido identificada como limite aceitável para o índice de simetria de coordenação do nado (SEIFERT *et al.*, 2008; FORMOSA *et al.*, 2013). De fato, o índice de coordenação de nado (IdC), desenvolvido com base no tempo de latência entre as fases propulsivas da braçada (lapso temporal, início e termino simultâneo e sobreposição de braços), pode permitir uma avaliação da simetria temporal do nado (CHOLLET *et al.*, 2000; ALBERTY *et al.*, 2009). Todavia, este método desconsidera os aspectos dimensionais da

braçada que podem influenciar as simetrias temporais, isto é, amplitude antero-posterior, amplitude médio-lateral e amplitude vertical de cada uma das braçadas. Assim, estudos que avaliem simetria temporal em conjunto com as características dimensionais da braçada são necessários.

Assimetrias podem ser ainda mais acentuadas em nadadores paralímpicos pela própria natureza de sua deficiência física, com frequente exibição de perfil antropométrico assimétrico. De fato, Dingley et al. (2014) observaram maior assimetria de força nos nadadores paraolímpicos mais acometidos pela deficiência. Por outro lado, Satkunskiene et al. (2005) não verificaram correlação entre a classificação funcional e o IdC ou assimetrias de coordenação entre braços direito e esquerdo para grupo de nadadores com deficiência locomotora. Em geral, os valores de IdC reportado por Satkunskiene et al. (2005) indicaram que pequena sobreposição dos braços são associadas com grupo de nadadores mais velozes e com a maior distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada.

A investigação da simetria é importante para proporcionar fundamentação sólida na orientação de treinamentos compensatórios que visem evitar instabilidade articular do ombro (TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009) responder a assimetrias excessivas (SEIFERT, CHOLLET, *et al.*, 2005), além de reduzir risco de fadiga prematura por um dos segmentos e pode estar associada a melhores desempenhos (DOS SANTOS *et al.*, 2013; SANDERS, FAIRWEATHER, *et al.*, 2015).

O objetivo deste estudo foi avaliar a simetria de coordenação temporal das fases da braçada e suas características dimensionais entre atletas de diferentes níveis de proficiência e paratletas de natação. Foi estabelecida a hipótese de que os paratletas apresentariam os maiores índices de assimetria, enquanto os atletas de maior proficiência apresentariam as características mais simétricas.

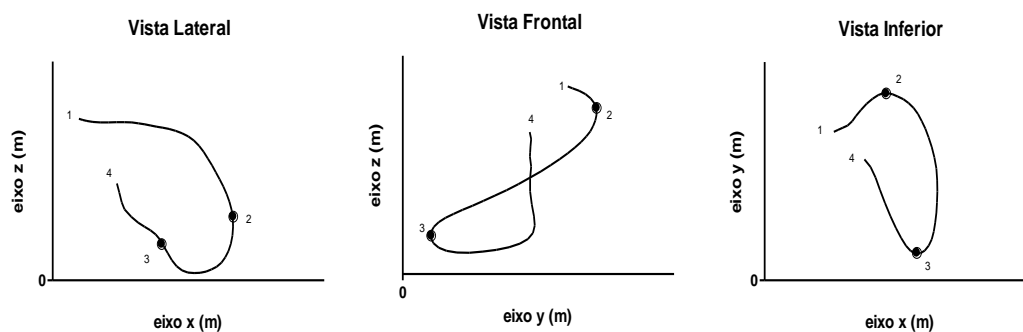
6.2 Metodologia

Os participantes da pesquisa, suas características, divisão de grupos, assim como os procedimentos de coleta, estão descritos no estudo 2. Adicionalmente, para finalidade do presente estudo, paratletas com amputação parcial ou má formação congênita do membro superior não foram considerados entre as análises de assimetria dimensionais da braçada (amplitude médio-lateral, amplitude antero-posterior e amplitude vertical) e um nadador com paralisia de plexo braquial foi excluído da amostra (uma vez que não possuía movimento em um dos braços). Assim, os grupos foram constituídos por 11 nadadores de maior índice técnico (G_{MIT}), 10 nadadores de menor índice técnico (G_{PIT}) e 14 paratletas (G_P) quando considerado os aspectos dimensionais da braçada e 20 quando foram analisados os aspectos temporais do movimento. Os nadadores foram questionados em relação à respiração utilizada usualmente durante os treinos (unilateral ou bilateral) e sobre dominância de lateralidade. Quatro dos 41 nadadores avaliados relataram que utilizam respiração bilateral (2 atletas do grupo G_{PIT} e 2 paratletas). Em relação à dominância, 2 atletas do grupo G_{MIT} e 4 paratletas reportaram que são sinistros para dominância de braço.

Para determinar a simetria bilateral, o índice de simetria (IS) foi acessado pelo valor absoluto de uma adaptação do calculo proposto por Robinson e colaboradores (ROBINSON *et al.*, 1987).

$$IS = \frac{(VARIABEL_{DIR} - VARIABEL_{ESQ})}{0,5 \times (VARIABEL_{DIR} + VARIAVELE_{ESQ})} \times 100$$

Diferenças percentuais menores que 10% foram indicadas como simetria bilateral e maiores como assimetria (SEIFERT *et al.*, 2008; FORMOSA *et al.*, 2013). A determinação das variáveis dimensionais, percentual de tempo despendido e velocidade média em cada fase da braçada estão descritos no estudo 2. Em adição, a Figura 6.1 representa a trajetória típica da braçada com indicação de suas fases no decorrer da braçada subaquática.



1-2: Varredura para baixo (VB); 2-3: Varredura para dentro (VD); 3-4: Varredura para cima (VC)

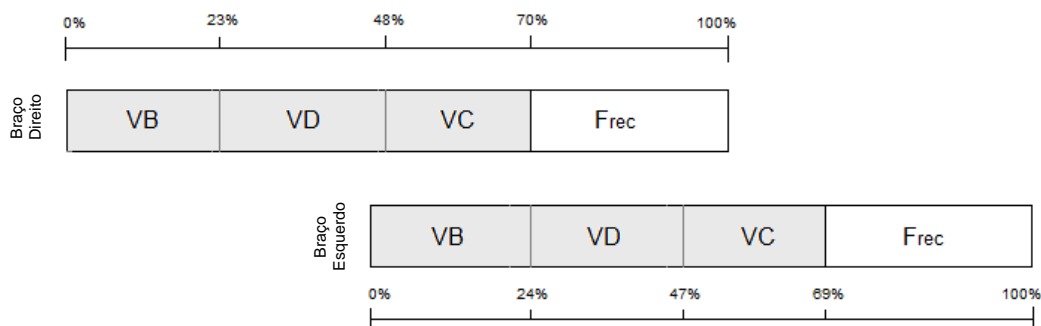
Figura 6.1 - Exemplo da trajetória da braçada direita de um nadador (sem deficiência físico-motora) com suas divisões de fases.

Estatística

Devido à maioria dos dados não terem obedecido a um padrão de normalidade, as comparações das assimetrias das variáveis dimensionais e temporais entre os grupos foram efetuadas utilizando-se o teste de comparação não paramétrico Kruskal-Wallis. Quando as comparações multivariadas foram realizadas (post hoc) utilizou-se o teste de Mann-Whitney com valor de p dividido pelo número de comparações efetuadas (3). O nível de significância foi estabelecido em $p < 0.05$ e as análises foram realizadas no Software Statistica, versão 7, Statsoft.

Resultados

A figura 6.2 representa o percentual médio de tempo entre todos os nadadores ($G_{MIT} + G_{PIT} + G_P$) para execução de cada fase da braçada para lado direito e esquerdo.



VB: varredura para baixo; VD: varredura para dentro; VC: varredura para cima; F_{rec}: fase recuperativa.

Figura 6.2 - Representação das fases das braçadas para lados direito e esquerdo dos nadadores avaliados (42).

Assimetria entre lados foi observada nos três grupos para amplitude antero-posterior da braçada submersa, amplitude médio-lateral, percentual despendido na fase recuperativa, índice de coordenação, percentual despendido em cada uma das fases subaquáticas e velocidade durante fase de entrada e varredura para baixo. Em adição, os paratletas apresentaram assimetria na amplitude vertical da braçada, velocidade durante execução da varredura para dentro e varredura para cima. Durante a varredura para dentro o índice de assimetria da velocidade da mão diferiu entre o grupo dos paratletas em relação aos demais grupos. Os percentuais de assimetria entre os grupos para cada variável esta presente na tabela 6.1.

Tabela 6.1: Comparação do percentual de assimetrias dos parâmetros do nado entre grupos de maior (G_{MIT}) e menor (G_{PIT}) índice técnico e paratletas (G_P)

| | $G_{MIT}(11)$ | $G_{PIT}(10)$ | $G_P (14)$ | p |
|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|----------|
| A_{A-Pbr} | 17,4* (9,50 - 25,00) | 10,49* (7,37 - 15,44) | 14,82* (12,63 - 19,81) | 0,24 |
| A_{M-Lbr} | 27,05* (20,60 - 32,53) | 26,01* (16,01 - 35,16) | 37,43* (23,06 - 42,55) | 0,22 |
| A_{Vbr} | 6,78 (3,57 - 7,91) | 9,68 (6,69 - 11,60) | 9,31 (4,24 - 14,36) | 0,22 |
| Tbr | 8,26 (3,90 - 11,35) | 4,65 (2,12 - 9,67) | 3,22 (1,42 - 13,83) | 0,32 |
| | $G_{MIT} (11)$ | $G_{PIT}(10)$ | $G_P (20)$ | p |
| Fsub | 6,99 (1,74 - 9,625) | 2,74 (2,47 - 8,19) | 5,76 4,25 - 8,72 | 0,42 |
| Frec | 15,28* (3,22 - 23,01) | 11,57* (4,39 - 18,80) | 14,90* 9,17 - 21,00 | 0,42 |
| IdC | 52,63* (28,57 - 166,67) | 60,00* (33,33 - 88,89) | 88,37* 58,82 - 166,66 | 0,57 |
| VB | 16,64* (9,66 - 42,67) | 30,75* (17,22 - 41,05) | 23,14* 11,43 - 46,21 | 0,71 |
| VD | 19,88* (7,32 - 27,05) | 13,36* (5,97 - 23,03) | 15,64* 6,45 - 24,82 | 0,84 |
| VC | 16,31* (5,63 - 37,925) | 15,58* (11,65 - 33,11) | 21,64* 10,39 - 69,48 | 0,63 |
| Vel_mED | 15,91* (5,58 - 20,37) | 15,46* (9,00 - 25,74) | 12,36* 2,86 - 24,89 | 0,45 |
| Vel_mVD | 3,86 (1,12 - 16,16) | 5,15 (1,53 - 7,86) | 11,89* ^a 9,390 - 28,25 | 0,04 |
| Vel_mVC | 9,96 (5,97 - 13,51) | 8,22 (7,32 - 11,76) | 11,88* 5,45 - 22,63 | 0,59 |
| Vel_msub | 5,79 (0,83 - 9,13) | 4,76 (3,06 - 6,29) | 6,13 2,56 - 10,01 | 0,64 |

Valores apresentados como medianas e intervalos interquartis (1^o e 3^o). *Assimetria bilateral. ^a diferença em relação ao G_{MIT}

A_{A-Pbr} - amplitude antero-posterior da braçada submersa; A_{M-Lbr} - amplitude médio-lateral da braçada submersa; A_{Vbr} - amplitude vertical da braçada; - percentual de tempo submerso da braçada; IdC - índice de coordenação, Vel_mVB - velocidade na fase de varredura para baixo; Vel_mVD - velocidade na fase de varredura para dentro; Vel_mVC velocidade na fase de varredura cima; Vel_mSub - velocidade na fase subaquática.

6.4 Discussão

Este estudo teve como objetivo determinar a simetria entre características dimensionais da braçada do nado crawl, coordenação temporal e velocidade da mão de atletas de maior e menor proficiência e paratleta de natação. O principal achado do estudo é que nadadores (indiferente do nível técnico) e paratletas apresentam assimetrias bilaterais. Ao nosso

conhecimento, este é o primeiro estudo que avalia assimetria entre uma série de parâmetros tridimensionais do nado em atletas e paratletas de natação.

Quando a média de tempo dos grupos despendida em cada fase da braçada foi considerada, uma aparente simetria de coordenação foi estabelecida (Figura 6.2). Isto remete ao fato de que parte dos participantes apresentou assimetrias em uma direção e outros em direção oposta, e que as mesmas desaparecem quando a média do grupo é reportada. Porém, quando índice de simetria foi calculado por participante desconsiderando o sentido em que ocorriam (direita ou esquerda), assimetrias foram detectadas (Tabela 6.1).

Uma vez que mais de 90% dos participantes avaliados eram destros, e assimetrias foram verificadas em ambas as direções, a dominância de lateralidade não parece ser um fator que explique tal resultado. Caso a dominância fosse a responsável pelas assimetrias, a maioria dos sujeitos (19 nadadores) apresentaria a diferença no mesmo sentido e a média refletiria as assimetrias existentes. É interessante notar que apesar da existência de assimetrias entre amplitude antero-posterior e amplitude médio-lateral da braçada, a trajetória total apresentou o mesmo amplitude antero-posterior. Parece que os nadadores compensam as diferenças médio-lateral com as antero-posterior e vice-versa para gerar amplitude antero-posterior de trajetórias equivalentes entre braçadas.

O índice de coordenação dos braços foi a variável que apresentou as maiores assimetrias. Chollet et al. (2009) também verificaram alto índice assimetria de coordenação com grande variabilidade nos sujeitos (25 a 170%). Isto remete pensar que um déficit no controle motor pode explicar as diferenças laterais observadas ou que diferentes funções entre os segmentos são empregadas. Existem argumentos de que um braço pode ser responsável pela produção de maiores níveis de força e o outro por ações mais relacionadas ao controle e suporte (SEIFER et al., 2005 e FORMOSA et al. 2014).

Quando a braçada foi subdividida em fases subaquática e aérea, os nadadores demonstraram assimetria entre lados no percentual de tempo despendido na fase recuperativa e simetria na fase subaquática. Barden et al. (2011) reportaram assimetrias entre lado direito e esquerdo nas fases subaquática e aérea com maiores diferenças para a fase subaquática. A

contraposição entre o presente estudo e os resultados apontados por Barden et al. (2011) podem ser explicadas pelo fato que os autores utilizaram valores absolutos enquanto o presente estudo verificou a assimetria relativa de cada fase, uma vez que as mesmas possuem percentual de duração distinto (~30% versus ~70% para fase aérea e subaquática, respectivamente) e ao considerar valores absolutos tais relações podem ser superestimadas ou subestimadas. Apesar de a fase subaquática ser equivalente entre lado direito e esquerdo para o percentual de tempo despendido, quando novas subdivisões foram analisadas, isto é, considerando as varreduras da braçada (baixo, dentro e cima), assimetrias foram identificadas em todas as fases para todos os grupos.

As diferenças entre o índice de coordenação de braços foram previamente descritas na literatura e explicadas por déficits de controle motor (CHOLLET *et al.*, 2000), dominância (TOURNY-CHOLLET *et al.*, 2009), respiração (Chollet et al 2009, SEIFER *et al.*, 2005; (SEIFERT *et al.*, 2008) e rolamento de corpo assimétrico (PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008). No presente estudo analisou-se uma braçada sem a realização da respiração e ainda assim assimetrias foram verificadas, ou seja, a execução da respiração não pode ser atribuída como única causa da discrepância entre braçadas contralaterais. Todavia, menos de 10% dos avaliados relatou uso de respiração bilateral, o que indica que possíveis assimetrias podem derivar do uso repetido de respiração unilateral. Em adição, as assimetrias foram determinadas desconsiderando o lado (esquerda ou direita), portanto, as assimetrias no presente estudo não podem ser explicadas por fatores relacionados à dominância. Possíveis diferenças na capacidade de aplicação de força entre braçadas podem explicar parcialmente as diferenças bilaterais. O uso de movimentos compensatórios para a braçada pode ter sido empregado a fim de prover a aplicação de forças de forma mais simétrica (EVERSHED *et al.*, 2014).

A hipótese de que o nível de habilidade técnica influenciaria na simetria entre as ações efetuadas pelos segmentos superiores não foi comprovada, uma vez que não houve diferença entre os grupos de maior e menor proficiência. Estes dados são corroborados por Psycharakis e Sanders (2010) que não verificaram correlação entre assimetrias bilaterais e velocidade de nado. Em adição, Morouço et al. (2015) não verificaram associação entre

assimetria de força com o nível de performance do nado. Parece que simetrias bilaterais não são capazes de diferenciar o nível de desempenho dos nadadores. De fato, nadadores podem propositalmente empregar padrão técnico individualizado para cada braçada, com atribuição a um segmento mais voltado a produção de forças superiores e outro a ações mais relacionadas a controle e suporte. Da mesma forma, a assimetria encontrada nos paratletas não diferiu dos demais grupos, com exceção da assimetria da velocidade na fase da varredura para dentro que foi maior que a verificada para o grupo de nadadores de menor desempenho. Em adição, a velocidade da varredura para cima apresentou característica assimétrica somente para o grupo dos nadadores paratletas. Dessa forma, a hipótese de que os paratletas teriam as maiores assimetrias foi parcialmente aceita. Talvez as ações realizadas (e treinadas) no movimento do nado sejam estereotipadas e correspondam em parte a uma técnica similar a observadas nos nadadores sem deficiência. Os movimentos repetitivos da prática da natação podem envolver muitas vezes aprendizado de técnica de movimento estereotipado (APOLINÁRIO *et al.*, 2017). Em adição, os participantes com amputação parcial dos membros superiores foram excluídos das análises dimensionais da braçada, o que garante maior homogeneidade dos dados e resultou em uma amostra majoritariamente composta por nadadores sem acometimento em membros superiores (ou semelhante, ex., nanismo). Maiores níveis de assimetria de força em paratletas têm sido observados em atletas com deficiência mais severas (DINGLEY, A. *et al.*, 2014). Em função do reduzido número de nadadores alocados em cada uma das classes funcionais, optou-se em não comparar subdivisões de grupos, preservando-se o comportamento geral dos paratletas avaliados (S5-S10). Apesar de assimetrias identificadas para velocidade nas fases de varredura para dentro e cima, quando a braçada subaquática foi considerada como um todo, a velocidade foi simétrica, o que indica que compensações são realizadas para resultar em uma velocidade de trajetória da braçada equivalente entre lados.

Este estudo apresentou resultados de simetria/assimetria entre média de grupos selecionados (nadadores de maior e menor proficiência e nadadores deficientes fisco-motor de classificação S6-S10), todavia comportamento

individual dos participantes dentro de um grupo não foi considerado e compreende uma limitação do estudo. De fato, a alta variabilidade de resultados, indica que os sujeitos diferem entre si e que a intervenção com treinamento compensatório para redução de assimetrias é orientado somente após a verificação da resposta individual do atleta.

6.5 Conclusão

Os nadadores apresentaram assimetria para amplitude antero-posterior e amplitude médio-lateral da braçada, índice de coordenação, subdivisões de fases (VB, VD, VC e Frec) e velocidade na primeira fase da braçada submersa, independente do nível de desempenho ou desabilidade. Não houve diferença nas respostas de simetrias/assimetrias entre os grupos, com exceção a velocidade da fase de varredura para cima que diferiu entre o grupo de paratletas e o grupo de menor índice técnico. Hábito de movimento respiratório para um único lado, desequilíbrio de força entre pares de músculos homólogos e déficit de controle motor podem ser possíveis explicações para as assimetrias verificadas. A hipótese de que os paratletas apresentariam os maiores índices de assimetria não foi confirmada. Talvez as ações treinadas no movimento do nado sejam estereotipadas e correspondam a uma técnica similar aquela observada em nadadores sem deficiência.

CAPÍTULO VII

CARACTERÍSTICA CINEMÁTICA APÓS REPETIÇÃO DE ESFORÇOS EM ALTA INTENSIDADE NO NADO

7. Característica cinemática após repetição de esforços em alta intensidade de nado

7.1 Introdução

A sustentação do desempenho de nado em elevadas intensidades é associada a alterações no padrão do movimento e tem sido foco de estudos, principalmente no esporte de alto rendimento devido a possíveis analogias acerca dos efeitos deletérios no desempenho associadas à processos de fadiga (ALBERTY *et al.*, 2009; FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013; KENNEDY *et al.*, 2013). Nesse sentido, a da velocidade da mão no decorrer de uma prova é fundamental, dada sua relevância na geração de força propulsiva. De fato, alguns estudos têm demonstrado que a diminuição na velocidade da mão acarreta a redução da velocidade de nado (SUITO *et al.*, 2008).

Chollet *et al.* (1997) e Pai *et al.* (1984), reportaram decréscimos de ~6% na velocidade de nado na segunda metade de um teste de 100m, enquanto, Toussaint *et al.* (2006) observaram quedas de 12,4%. A diferença entre esses estudos pode ser explicada pelo nível de habilidade dos atletas, uma vez que nadadores de maior proficiência possuem melhor capacidade de manutenção da velocidade de nado (CRAIG *et al.*, 1985). Seifert *et al.* (2007), reportaram diminuições na velocidade de nado em 100m de 16, 18 e 19% para nadadores de alta, média e nadadoras de baixa velocidade, respectivamente. Concomitante com a velocidade de nado, diminuições da distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada tem sido observados em nadadores de média e baixa velocidade. Parece que nadadores de elite são capazes de sustentar maior estabilidade na distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada durante toda a prova (SEIFERT *et al.*, 2007). A trajetória e parâmetros da braçada de nadadores de maior proficiência parecem não ser muito suscetíveis a alterações mesmo nas fases finais das provas, quando a presença de processos de fadiga pode influenciar o desempenho de forma mais pronunciada (MATTHEWS *et al.*, 2017).

Alterações na distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e frequência da braçada têm sido associadas à tentativas de manter a

velocidade de nado (ALBERTY *et al.*, 2005; PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008). Assim, velocidades comparáveis podem ser obtidas com diferentes combinações de frequência e distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada (PAI *et al.*, 1984; ARELLANO e BROWN, 1994; HELLARD *et al.*, 2008). Uma das estratégias mais frequentes para manter a velocidade de nado, ocorre pelo aumento da frequência de braçada a fim de compensar a diminuição da distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada (ALBERTY *et al.*, 2008). Todavia, a frequência, a distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e a velocidade de nado tendem a diminuir em função do esforço (STIRN *et al.*, 2011).

A sustentação de esforços em alta intensidade induz a alterações na coordenação da braçada. Reduções na duração relativa da fase não-propulsiva da braçada tem sido observadas como uma forma de incrementar a duração relativa da fase propulsiva numa tentativa de aumentar o impulso. Tais modificações também causam aumento sobre o índice de coordenação da braçada (SEIFERT *et al.*, 2007; ALBERTY *et al.*, 2008). Portanto, a duração relativa nas fases da braçada pode permitir um melhor entendimento sobre como nadadores organizam as ações do nado durante esforços em elevada intensidade (ALBERTY *et al.*, 2009).

Diferentes alterações nos parâmetros de nado podem ocorrer segundo distintas metragens (TOUSSAINT *et al.*, 2006; KOMAR *et al.*, 2012; FIGUEIREDO, SANDERS, *et al.*, 2013) e de acordo com o nível de proficiência do atleta (CHOLLET *et al.*, 1997; SANTOS *et al.*, 2017). Do mesmo modo, nadadores com deficiências físicas podem, além de apresentarem desempenhos diferenciados segundo sua classificação funcional (WU e WILLIAMS, 1999; FULTON, PYNE, HOPKINS, *et al.*, 2009) apresentarem também respostas distintas em relação à sustentação de esforços máximos segundo a severidade da deficiência (DINGLEY, A. *et al.*, 2014). Estas respostas talvez sejam precoces ou mais acentuadas de acordo com a gravidade da deficiência. Por exemplo, Lee *et al.* (2016), observaram menor produção de força em 20% em paratletas de natação com amputação unilateral de braço comparados a nadadores sem deficiência. Em adição, declínios mais acentuados da frequência da braçada também foram encontrados, apesar do

índice de fadiga ser comparável entre os grupos. Além das alterações observadas no pico de força dos nadadores no decorrer do teste, assimetria de produção de força foi observada.

Estes estudos demonstram alteração na mecânica do nado em função de metragens específicas do nado, todavia, podem não representar alterações quando os estímulos são gradativamente aumentados (MATTHEWS *et al.*, 2017). Talvez estas alterações apresentem resultados acentuados em resposta a aumentos da demanda. Estudos que induzam maiores estímulos são necessários a fim de verificar se as demandas tornam as características do nado mais evidentes. Em adição, até o momento, o impacto de sustentação de repetições de nado em alta intensidade nos parâmetros dimensionais, coordenação da braçada e a simetria da braçada de nadadores paralímpicos não foram estabelecidos. Estas informações podem permitir que técnicos e atletas desenvolvam novas estratégias para manter mais estáveis os parâmetros de nado no decorrer de uma prova. Somado a isto, informações objetivas que permitam rever os critérios empregados para a divisão de classificação entre os paratletas podem ser obtidas. De fato, o sistema de classificação tem sido realizado de forma subjetiva e análises experimentais podem contribuir com medidas objetivas. Tais medidas podem considerar como a deficiência limita o desempenho e afeta a habilidade do nadador em sustentá-lo.

O objetivo deste estudo foi determinar alterações nos parâmetros de nado, coordenação da braçada e sua simetria após esforços repetidos de nado em alta intensidade em atletas de diferentes desempenhos e paratletas de natação. Foi assumida a hipótese de que velocidade, frequência de braçada, distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, índice de nado e tempo despendido na fase recuperativa diminuiriam no decorrer das repetições. Por outro lado, tempo despendido na fase subaquática, assimetria de parâmetros dimensionais da braçada e de coordenação aumentariam. Em adição foi pressuposto alterações mais acentuadas primeiramente nos paratletas, em seguida nos nadadores de menor índice técnico e por fim, de maneira mais tênue, nos nadadores de maior proficiência.

7.2 Metodologia

A amostra deste estudo, suas características e divisão de grupos estão descritas no estudo 2 (tópico 5.2), todavia um atleta e um paratleta não conseguiram concluir o protocolo proposto devido relato de mal estar. Dessa forma, o presente estudo foi constituído por 40 nadadores (20 atletas e 20 paratletas com deficiências físico-motoras). Comparações foram realizadas entre condições iniciais e finais do protocolo e entre grupos de maior e menor proficiência segundo o índice técnico (10 nadadores em cada grupo).

O protocolo foi composto por séries de desempenho de 50m máximos de nado crawl com 10 segundos de intervalo. Os nadadores repetiram a série pelo número repetições toleradas. O menor número de repetições foi 6 e o maior foi 12, com média de 7 ± 2 séries entre os nadadores sem deficiência e 8 ± 2 séries para os deficientes físicos. Em adição, um acompanhamento da redução do tempo de desempenho entre cada série foi realizado, sendo que os últimos 50m ocorreram com uma redução de tempo superior ou igual a 10% em relação ao tempo obtido nos primeiros 50m. A descrição da organização dos procedimentos para a coleta de dados está descrita no estudo 2 (tópico 5.2). Somente a primeira e última séries foram gravadas e analisadas.

As variáveis de parâmetros do nado (Dbr, Fbr, Vel, IN e IVV), dimensões da braçada (A_{A-Pbr} , A_{M-Lbr} e A_{Vbr}), índice de coordenação (IdC) e fases da braçada (Fsub - VB, VD e VC - Frec) foram definidas previamente no estudo 2.

Estatística

A normalidade das variáveis foi testada pelo teste de Shapiro-Wilk e homogeneidade pelo teste de Levene. A comparação entre grupos em condição inicial e final, para lado dominante e não dominante foi realizada por ANOVA Modelos Mistos. O tamanho do efeito foi calculado considerando a razão entre a diferença das médias das condições (inicial e final) e seus desvios-padrões (THALHEIMER e COOK, 2002). De acordo com Cohen, tamanho de efeito maior ou igual a 0.80 representa grande mudança, entre 0.5 e 0.8 – mudança moderada e tamanho do efeito menor ou igual a 0.20 –

pequena mudança. Análise estatística foi realizada usando um software específico (Statistic, versão 7, Statsoft) com nível de significância adotado em $p < 0.05$.

7.3 Resultados

Os resultados contemplam os dados relativos aos parâmetros do nado a fim de identificar as alterações ocorridas entre início e fim do teste. Os resultados relativos às variáveis unilaterais do braço dominante e não dominante são apresentados na sequência e visam analisar as alterações ocorridas em cada hemicorpo. As condições inicial e final para parâmetros do nado nos 3 grupos de nadadores são representados na tabela 7.1.

Tabela 7.1 - Comparação dos parâmetros do nado entre condições inicial e final para os nadadores de maior (G_{MIT}), menor (G_{PIT}) índice técnico e paratletas (G_P)

| | G_{MIT} (10) | | d | G_{PIT} (10) | | d | G_P (20) | | d | p (ini-fim) | p (Interação) |
|------------|-------------------|------------------------------|------|-----------------------------|------------------------------|------|------------------------------|------------------------------|------|----------------|------------------|
| | INI | FIM | | INI | FIM | | INI | FIM | | | |
| Vel | 1,63 (0,15) | 1,29 ^a (0,15) | 0,76 | 1,38 ^b (0,17) | 1,14 ^a (0,15) | 0,50 | 1,15 ^{bc} (0,23) | 1,00 ^{ab} (0,28) | 0,16 | 0,00 | 0,01 |
| Dbr | 2,00 (0,19) | 2,05 (0,27) | 0,07 | 1,78 (0,29) | 1,88 (0,37) | 0,10 | 1,45 ^{bc} (0,25) | 1,43 ^{bc} (0,26) | 0,02 | 0,80 | 0,13 |
| Fbr | 48,88 (3,61) | 37,81 ^a (4,16) | 0,95 | 47,26 (4,82) | 37,24 ^a (6,53) | 0,58 | 47,61 (6,92) | 41,93 ^a (8,80) | 0,20 | 0,00 | 0,04 |
| IN | 3,26 0,28 | 2,64 ^a 0,3 | 0,61 | 2,45 0,27 | 2,14 0,22 | 0,40 | 1,67 ^{bc} 0,18 | 1,43 ^{abc} 0,12 | 0,50 | 0,00 | 0,02 |
| VIV | 0,21 (0,08) | 0,22 (0,08) | 0,04 | 0,22 (0,09) | 0,22 (0,10) | 0,00 | 0,24 (0,09) | 0,26 (0,12) | 0,05 | 0,65 | 0,87 |

Nota: Vel - velocidade de nado; Dbr - distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, Fbr - frequência de braçada; IN - índice de nado; VIV - variação intracíclica da velocidade. ^a diferença entre condição inicial e final; ^b diferença em relação ao grupo 1; ^c diferença em relação grupo 2

As variáveis de velocidade do nado e frequência de braçada e índice de nado apresentaram quedas de aproximadamente 18% e 19% e 16%, respectivamente, com tamanho de efeito entre moderado e alto nos diferentes grupos. A distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e variação intracíclica da velocidade não apresentaram alterações significativas em função do tempo. A tabela 7.2 apresenta os resultados referentes as dimensões da braçada, índice de coordenação e fases da braçada em ambos hemicorpos, nos três grupos de nadadores analisados.

Tabela 7.2 - Comparação das variáveis de dimensões da braçada, índice de coordenação e fases da braçada em ambos hemisférios nas condições final e inicial para os nadadores de maior (G_{MIT}), menor (G_{PIT}) índice técnico e paratletas (G_P).

| | Condição Inicial | | | | | | Condição Final | | | | | | p (INI-FIM) | d (INI-FIM) | p (interação) |
|--|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|----------------|----------------|------------------|
| | G _{MIT} (10) | | G _{PIT} (10) | | G _P (20) | | G _{MIT} (10) | | G _{PIT} (10) | | G _P (20) | | | | |
| | D | ND | D | ND | D | ND | D | ND | D | ND | D | ND | | | |
| A _{A-Pbr} (m) | 0,70 (0,16) | 0,70 (0,09) | 0,69 (0,13) | 0,69 (0,10) | 0,68 (0,10) | 0,70 (0,12) | 0,78 (0,15) | 0,81 (0,23) | 0,78 (0,27) | 0,79 (0,25) | 0,70 (0,17) | 0,74 (0,11) | 0,05 | 0,46 | 0,97 |
| A _{M-Lbr} (m) | 0,36 (0,12) | 0,25 ^a (0,09) | 0,28 (0,08) | 0,30 (0,12) | 0,27 (0,09) | 0,32 (0,08) | 0,37 (0,13) | 0,27 ^a (0,09) | 0,32 (0,08) | 0,28 (0,07) | 0,31 ^b (0,09) | 0,31 (0,07) | 0,13 | 0,15 | 0,40 |
| A _{Vbr} (m) | 0,70 (0,06) | 0,70 (0,07) | 0,62 (0,09) | 0,64 (0,09) | 0,62 (0,11) | 0,57 ^c (0,13) | 0,69 (0,09) | 0,69 (0,09) | 0,62 (0,08) | 0,67 (0,08) | 0,58 ^c (0,13) | 0,62 ^a (0,11) | 0,95 | 0,04 | 0,03 |
| Fsub (%) | 68,49 (4,92) | 68,64 (4,62) | 69,99 (4,10) | 69,80 (4,54) | 69,50 (5,16) | 69,06 (6,55) | 70,59 (6,57) | 73,23 ^b (5,19) | 76,02 ^b (3,48) | 74,46 ^b (6,27) | 69,60 (6,34) | 72,21 ^a (6,22) | 0,00 | 0,65 | 0,46 |
| Frec (%) | 31,51 (4,92) | 31,36 (4,62) | 30,01 (4,10) | 30,20 (4,54) | 30,50 (5,16) | 30,94 (6,55) | 29,41 (6,57) | 26,77 ^b (5,19) | 23,9 ^b (3,48) | 25,54 (6,27) | 28,40 (6,34) | 27,79 ^b (6,22) | 0,00 | 0,72 | 0,46 |
| IdC (%) | 0,10 (4,32) | 2,9 ^a (3,21) | -0,3 (5,21) | 0,3 (4,96) | -1,80 (5,29) | -4,25 ^{acd} (5,21) | 2,30 ^b (7,98) | 3,1 (6,79) | 2,3 ^b (6,65) | -1,5 ^a (3,17) | 0,00 ^{bd} (4,39) | -4,53 ^{acd} (7,11) | 0,01 | 0,15 | 0,01 |
| VB (%) | 19,32 (15,83) | 19,52 (12,14) | 19,86 (13,44) | 20,79 (16,16) | 25,63 (12,50) | 27,53 (13,29) | 20,72 (14,69) | 22,34 (16,76) | 26,26 (18,45) | 29,06 (18,69) | 26,86 (12,53) | 28,79 (12,70) | 0,15 | 0,24 | 0,90 |
| VD (%) | 30,48 (12,27) | 26,88 (8,53) | 24,96 (10,74) | 23,32 (9,81) | 22,73 (6,74) | 22,89 (8,39) | 30,01 (15,27) | 28,78 (14,79) | 26,29 (16,27) | 22,83 (11,29) | 23,96 (9,66) | 23,98 (10,14) | 0,40 | 0,07 | 0,85 |
| VC (%) | 18,82 (9,44) | 22,25 (9,42) | 25,17 (6,75) | 25,68 (7,02) | 21,72 (8,06) | 18,65 (8,51) | 20,83 (9,76) | 22,11 (7,20) | 23,47 (5,32) | 22,57 (9,04) | 20,78 (8,81) | 19,44 (6,53) | 0,237 | 0,07 | 0,90 |
| Vel _m VB (m,s ⁻¹) | 2,06 (0,37) | 1,95 (0,20) | 1,76 (0,27) | 1,66 (0,36) | 1,79 (0,28) | 1,77 (0,47) | 1,70 ^b (0,19) | 1,71 ^b (0,39) | 1,47 ^b (0,23) | 1,48 (0,39) | 1,50 ^b (0,36) | 1,57 ^b (0,33) | 0,00 | 0,82 | 0,98 |
| Vel _m VD (m,s ⁻¹) | 2,36 (0,32) | 2,25 (0,32) | 1,99 (0,31) | 2,02 (0,24) | 2,18 (0,54) | 2,14 (0,43) | 1,87 ^b (0,26) | 1,82 ^b (0,34) | 1,58 ^b (0,24) | 1,49 ^b (0,19) | 1,91 ^b (0,52) | 1,99 (0,37) | 0,00 | 1,13 | 0,89 |
| Vel _m VC (m,s ⁻¹) | 2,72 (0,34) | 2,52 (0,22) | 2,51 (0,47) | 2,32 (0,29) | 2,43 (0,43) | 2,67 ^{ad} (0,35) | 2,37 (0,21) | 2,33 (0,23) | 2,20 (0,24) | 1,76 ^b (0,44) | 2,23 (0,54) | 2,43 ^b (0,47) | 0,00 | 0,89 | 0,71 |
| Vel _m sub (m,s ⁻¹) | 2,36 (0,30) | 2,25 (0,21) | 2,10 (0,26) | 2,05 (0,17) | 2,13 (0,23) | 2,17 (0,30) | 1,99 ^b (0,19) | 1,9 ^b (0,16) | 1,73 ^b (0,19) | 1,90 ^b (0,16) | 1,85 ^b (0,40) | 1,92 ^b (0,27) | 0,00 | 1,26 | 0,99 |

Nota: Os dados não paramétricos não possuem valores de p para interação (grupo*dominância*condição). A_{A-Pbr} - amplitude antero-posterior da braçada submersa; A_{M-Lbr} - amplitude médio-lateral da braçada submersa; A_{Vbr} - amplitude vertical da braçada; Fsub - percentual de tempo submerso da braçada; IdC - índice de coordenação; Vel_mVB - velocidade na fase de varredura para baixo; Vel_mVD - velocidade na fase de varredura para dentro; Vel_mVC velocidade na fase de varredura cima; Vel_mSub - velocidade na fase subaquática. ^a - diferença em relação a dominância; ^b - diferença em relação a condição inicial e final; ^c - diferença em relação ao grupo 1; ^d - diferença em relação ao grupo 2.

Aspectos dimensionais da braçada não diferiram entre dominância, grupo ou condições de teste. Nadadores apresentaram adaptações na coordenação da braçada no decorrer do protocolo com aumento no tempo despendido na fase subaquática e sobreposição de braçada para membro dominante. Velocidade da mão reduziu durante cada fase subaquática da braçada com alto tamanho de efeito (entre 0,82 e 1,26).

7.4 Discussão

Este estudo comparou os parâmetros de nado, aspectos dimensionais da braçada do nado livre, coordenação entre fases da braçada e sua simetria antes e após estímulos de nado em intensidade máxima em atletas de diferentes níveis de proficiência e paratletas.

A redução da velocidade e do índice de nado após repetição de esforços máximos nos grupos avaliados indica decréscimo de desempenho e sugere possível processo de instalação da fadiga. Chollet et al. (1997) reportaram reduções de 5,7% na velocidade de nado na segunda metade de um teste de 100m, enquanto, Pai et al. (1984) reportaram diminuições de 6,3% e Toussant et al. (2006) de 12,4%. Esses estudos demonstram alteração na mecânica do nado em curto período de tempo, as quais podem diferir daquelas que ocorrem quando os esforços mais elevados são impostos (MATTHEWS *et al.*, 2017). Demandas aumentadas de esforços podem tornar as características e alterações do desempenho de nado mais evidentes, especialmente quando as diferenças são bastante discretas. De fato, nossos resultados apontam diminuição de velocidades mais expressivas com protocolo de repetição de séries máximas de 50m de nado crawl até autorrelato de incapacidade para continuar o teste.

Os nadadores de alto nível apresentaram maior redução na velocidade (20.9%) em relação aos demais grupos (17.4% e 13.0%). A hipótese de que nadadores de maior proficiência apresentariam menor redução na velocidade de nado não foi confirmada. Uma possível explicação é que talvez os atletas de menor proficiência e paratletas não tenham realizado sua velocidade máxima na primeira série a fim de se resguardar para as séries

subsequentes. De fato, os atletas de maior proficiência apresentaram velocidades iniciais maiores (portanto, uma maior “janela” de alteração) e realizaram um menor número de repetições em relação aos paratletas (6 vs. 8 repetições). A redução da velocidade observada nos nadadores sem deficiência estão de acordo aos resultados reportados por Seifert et al. (2007) em prova de 100m. As metodologias de avaliações podem explicar as discrepâncias verificadas na literatura, isto é redução de aproximadamente 6% - Chollet et al. (1997) e Pai et al. (1984) versus 20% - Seifert et al. (2007), uma vez que algumas pesquisas avaliam as alterações entre duas metades do teste (15 versus 65m), enquanto outras dividem metragem em 4 parciais para tecer comparações entre os quartis. Da mesma forma, a estratégia de prova utilizada pelos nadadores pode também interferir nos resultados. O presente estudo comparou um ciclo de braçada na primeira metade do teste em diferentes séries de 50 metros, o que diminui influência de adoção de estratégia geralmente realizada em provas com maior número de parciais.

A menor distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada dos paratletas pode ser explicado pelas limitações impostas pela deficiência (amputação de braço, nanismo, incapacidade de extensão do braço, baixa flexibilidade, etc.). A manutenção da distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada no decorrer do teste pode ser atribuída ao refinamento da execução técnica, uma vez que nadadores de excelência tendem a apresentar menores modificações nos parâmetros da braçada, mesmo quando expostos aos efeitos da fadiga (MATTHEWS *et al.*, 2017). Por outro lado, a diminuição da frequência de braçada corrobora com achados reportados por Weiss et al. (1988) e Toca-Herrera et al., (2008) e pode decorrer da alta demanda de esforços impostos aos nadadores. Em contrapartida, alguns estudos relatam aumentos na frequência em função do tempo (ALBERTY *et al.*, 2008; PSYCHARAKIS e SANDERS, 2008; KOMAR *et al.*, 2012). Parece que existe uma tendência em aumentar frequência de braçada na tentativa de manter velocidade, mas com a continuidade dos esforços, tanto a frequência de braçada quanto a velocidade de nado diminuam (STIRN *et al.*, 2011). A hipótese de que os parâmetros do nado (Vel, Dbr e Fbr e IN) diminuiriam ao final do teste foi parcialmente aceita, uma

vez que distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada se manteve enquanto as outras variáveis reduziram. A hipótese de que as alterações seriam menos acentuadas no grupo de maior proficiência foi rejeitada, visto que, não houve diferença entre os grupos quanto as alterações do início ao fim do teste. Parâmetros de velocidade, distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e índice de nado distinguiram os grupos de atletas com e sem deficiência físico-motora e quanto ao nível de performance.

A variação intracíclica da velocidade não foi alterada ao final do teste e corrobora com estudos anteriores (PSYCHARAKIS *et al.*, 2010; FIGUEIREDO, BARBOSA, *et al.*, 2012). A hipótese de que nadadores de menor desempenho e paratletas apresentariam maior variação intracíclica da velocidade não foi confirmada. Isso pode ser explicado devido o estilo de nado crawl ser considerado o mais econômico, com alternância de fase propulsiva do nado, o que gera menor e mais estável variação intracíclica da velocidade. Em adição, talvez as adaptações técnica dos atletas (e paratletas) no decorrer do teste (como a exemplo do aumento do índice de coordenação), proporcionaram a manutenção da variação intracíclica da velocidade mesmo após sustentação de esforços repetidos de nado. Variação da velocidade intracíclica parece não ser uma variável capaz de predizer o desempenho, uma vez que não diferiu entre grupos ou condições.

Os aspectos dimensionais da braçada (amplitude antero-posterior, amplitude médio-lateral e amplitude vertical subaquática), não alteraram ao final dos esforços máximos, com exceção a um aumento da amplitude médio-lateral para o braço dominante no grupo dos paratletas. Talvez a sustentação de esforços máximos possua maior influência em outros aspectos da braçada que não suas características dimensionais. Tais aspectos podem compreender a um padrão robusto, de resposta consistente ao longo do desempenho em função de sua prática, indiferente a velocidade de execução do movimento. De fato, todos os nadadores avaliados são atletas experientes que treinam com regularidade mínima de 5 vezes semanais e são portanto acostumados a praticar o desempenho em circunstância de sustentação do nado em altas intensidades. Isto pode ter influenciado na capacidade de manutenção dos aspectos dimensionais da braçada ao final do teste.

O aumento do percentual de tempo despendido na fase subaquática e consequente redução da fase aérea da braçada ao final do teste dos nadadores de menor desempenho e braço não dominante do grupo de paratletas podem ter ocorrido por reduções na velocidade da mão durante a fase subaquática. Em adição, o grupo de maior proficiência diminuiu o percentual de tempo despendido na fase aérea para braço não dominante e é corroborado pela literatura (SEIFERT, BOULESTEIX, *et al.*, 2005; ALBERTY *et al.*, 2008; SANTOS *et al.*, 2017). A diminuição da velocidade da mão na fase subaquática tem sido indicada como a responsável pelas adaptações observadas. A similaridade entre os grupos para o percentual de tempo despendido nas fases aérea e subaquática indica que a estrutura temporal das fases da braçada é similar nos nadadores, independente do nível de desempenho. Tal organização parece compreender um aspecto estereotipado da modalidade.

O índice de coordenação aumentou em todos os grupos para braço dominante. O aumento de sobreposição dos braços na fase propulsiva ao final do teste pode corresponder a uma estratégia utilizada na tentativa de manutenção da velocidade (ALBERTY *et al.*, 2009). Seifert *et al.* (2007), observaram que nadadores de menor proficiência modificam o índice de coordenação de braços de um modelo de oposição para sobreposição em condição de fadiga. Todavia, este artifício pode não ser eficiente, uma vez que a distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e a velocidade continuaram a decrescer à medida que o esforço foi continuado (fadiga). No presente estudo, o aumento do índice de coordenação para braço dominante ocorreu sem alteração da distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada, todavia a velocidade da mão e a frequência de braçada diminuíram. Isto sugere que aumentos de proporção de tempo despendido na fase propulsiva e sobreposição de braços não são suficientes para manter velocidade de nado no decorrer do desempenho de esforços em alta intensidade. Interessante notar, que o mesmo comportamento não foi observado para o braço não dominante. Talvez, estratégia de apoio e aplicação de força propulsiva entre braços expliquem esta diferença. Deveras, Seifer *et al.* (2005) e Formosa *et al.* (2014) atribuíram diferença ao papel funcional de cada braçada, em que o segmento dominante é mais

responsável pela produção de forças superiores e o não dominante assume ações mais relacionadas a controle e suporte. O braço não dominante dos paratletas apresentou o maior tempo entre propulsão de braçadas (modelo captura) e pode estar relacionado com o menor desempenho do grupo, posto que menores índices de coordenação são associados com as performances menos elevadas (FORMOSA *et al.*, 2013). Os nadadores de maior proficiência demonstraram menor índice de coordenação no início do teste para o braço dominante e com o decorrer do protocolo o mesmo foi aumentado. O aumento do índice de coordenação pode ter ocorrido a fim de auxiliar de forma mais equitativa a aplicação de força propulsiva por braçada. Dessa forma, a diferença do percentual de sobreposição de braçadas foi reduzida ao final do protocolo.

O percentual de tempo despendido em cada fase da braçada subaquática (isto é, varreduras para baixo, dentro e cima), não apresentou diferença entre as condições, ou dominância de braçadas entre grupos. Parece que a estrutura temporal das fases da braçada subaquática, quando analisadas individualmente, não é facilmente modificável e não se mostra suficiente para permitir distinguir dominância, nível de desempenho e grupo de nadadores atletas de paratletas.

A diminuição da velocidade da mão em cada fase subaquática sugere uma possível instalação de processos de fadiga. Da mesma forma, a velocidade da mão pode ter interferido na velocidade média do nado, uma vez que a mão é assumida como a principal geradora de força propulsiva (SUITO *et al.*, 2008). Logo, a exaustão dos nadadores ao final do teste pode ter reduzido a eficiência propulsiva e resultado em menores velocidades de nado (TOUSSAINT *et al.*, 2006). Em adição ao efeito de tais modificações, as forças resistivas (arrasto) também podem ter sido incrementadas devido a um desalinhamento do corpo em função do provável processo de fadiga ao final do teste e contribuído ainda mais para a redução da velocidade da mão e, consequentemente, da velocidade do nado. Portanto, a hipótese de que a velocidade da mão reduziria em função do tempo, com alterações mais acentuadas nos paratletas, em seguida nos nadadores de menor índice técnico e por ultimo, nos nadadores de maior proficiência foi parcialmente aceita. A menor eficiência da braçada nos nadadores de menor desempenho

talvez explique a menor velocidade de nado mesmo com a similaridade da velocidade das mãos. De fato, eficiência da braçada resulta da razão entre a velocidade de nado e a média das velocidades das mãos (Figueiredo et al., 2011). O desalinhamento corporal e maior arrasto passivo enfrentado por estes nadadores podem ter contribuído para tal resultado (CAPPAERT *et al.*, 1995; OH, 2015), assim como possível inadequação do ângulo de aplicação de força propulsiva da mão no nado (SCHLEIHAUF *et al.*, 1988).

7.5 Conclusão

Os resultados apresentados podem permitir que técnicos obtenham novas ideias de como manter mais estáveis os parâmetros de nado no decorrer de uma prova. Devido importância da distância média percorrida pelo corpo por ciclo de braçada na melhoria do desempenho, seria benéfico para nadadores praticarem treinamento para aumentar sua amplitude e mantê-la no decorrer da excussão de estímulos elevados. Todavia, a diminuição da frequência de braçada foi a principal responsável pela queda de desempenho, uma vez que velocidade é determinada pelo produto entre a distância percorrida pelo corpo por ciclo de braçada e a sua frequência e dentre estas variáveis, somente a frequência de braçada alterou ao final do teste. Treino para a manutenção da frequência de braçada se faz necessário quando sustentação de desempenho é requerida.

Aspectos dimensionais da braçada e fases subaquáticas analisadas individualmente não foram suficientes para distinguir condição inicial e final do teste, dominância de braço e nível de proficiência dos nadadores. Por outro lado, quando considerada a soma das fases subaquáticas, nadadores demonstraram adaptação na coordenação da braçada no decorrer do protocolo com aumento no tempo despendido na fase subaquática e de sobreposição de braçada na fase propulsiva para membro dominante. Velocidade da mão por sua vez, diminuiu provavelmente devido ao decréscimo na capacidade energética, capacidade de gerar força propulsiva e do aumento do arrasto passivo em função do provável processo de fadiga ocorrido.

CAPÍTULO VIII
SÍNTESE, CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E PERSPECTIVA DE FUTUROS
ESTUDOS.

8. Síntese, conclusões, limitações e perspectiva de futuros estudos.

O objetivo central do estudo foi analisar parâmetros cinemáticos do nado entre atletas de diferentes níveis de desempenho e paratletas de natação antes e após sustentação de estímulos de alta intensidade de nado. Uma série de características do nado de atletas e paratletas foram descritas a fim de distinguir os parâmetros que caracterizam nadadores de alto desempenho de seus pares de menor desempenho. As características apresentadas pelo paratletas foram correlacionadas com a classificação funcional de acordo com os critérios adotados pelo Comitê Paralímpico Internacional. Os parâmetros da braçada foram analisados segundo simetria do movimento entre os hemisférios direito e esquerdo e segundo o comportamento do gesto após estímulos de repetições em alta intensidade no nado, uma vez que demandas elevadas poderiam evidenciar as características de distinção das performances mais elevadas. Dessa forma, para responder o objetivo geral do estudo foram estruturadas quatro análises que permitiram as seguintes conclusões:

Aspectos metodológicos da aquisição dos dados cinemáticos são adequados, uma vez que apresentam alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador e boa precisão. Estes dados são importantes, principalmente devido ao uso de câmeras portáteis de baixo custo na captura de vídeos subaquáticos para as análises do desempenho. Em adição, marcadores ativos apresentam alta reprodutibilidade inter e intra-avaliador na reconstrução semiautomática do movimento e são promissores pela resposta mais rápida que o método de processamento manual na análise cinemática do nado. A mensuração subaquática permitiu a reconstrução do nado e posterior comparação das características espaços-temporais da braçada dos nadadores de maior e menor proficiência. Nadadores de melhor desempenho apresentaram maior velocidade, distância percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas, amplitude médio-lateral e amplitude vertical da braçada. Em adição velocidade na execução da varredura para cima e a velocidade média do deslocamento da mão na fase subaquática foi maior nos nadadores de maior índice técnico. Uma série de características do nado de paratletas foi

descrita e pode ser utilizada em futuras comparações. Velocidade, distância percorrida pelo corpo a cada ciclo de braçadas e percentual de tempo despendido na fase subaquática, foram positivamente correlacionados com a classificação funcional.

Em relação as análises do desempenho individual da braçada, os grupos apresentaram comportamento assimétrico para a maioria dos parâmetros avaliados e foram em geral similares quanto as assimetrias, ou seja, assimetrias não foram capazes de distinguir nível de desempenho e podem estar relacionadas com o hábito do movimento respiratório para um único lado, desequilíbrio de força entre pares de músculos homólogos e déficit de controle motor. Atletas e paratletas foram assimétricos para amplitude antero-posterior e amplitude médio-lateral da braçada, índice de coordenação, fases da braçada e velocidade na fase de varredura para baixo. A similaridade no comportamento das assimetrias entre os grupos talvez ocorra em resposta a repetição do treinamento da execução de movimentos estereotipados. Adicionalmente os paratletas foram assimétricos para a velocidade das varreduras para dentro e para cima da braçada. Treinamento compensatório para minimizar desequilíbrios laterais excessivos pode ser indicado.

Por fim, as alterações nos parâmetros do nado e sua simetria após sustentação de repetições de desempenho em intensidade elevada foram investigadas, a fim de tornar mais evidentes as características e alterações do nado com o aumento da demanda imposta. Aspectos dimensionais da braçada, variação intracíclica da braçada e percentual de tempo despendido nas fases da braçada individualmente, não foram suficientes para distinguir condição inicial e final do teste, dominância de braço e nível de proficiência dos nadadores. Parece que as dimensões da braçada e a estrutura temporal de suas fases (quando analisadas individualmente) compreendem um padrão robusto e consistente dos nadadores e não são facilmente modificáveis ou suficientes para distinguir dominância, níveis de desempenho e grupo de nadadores atletas de paratletas. Por outro lado, ao considerar a fase subaquática como um todo, nadadores expressaram acréscimo no percentual de tempo para completar o movimento com aumento no índice de

coordenação para membro dominante. Este comportamento talvez corresponda a uma adaptação modulada pelo sistema nervoso central como uma estratégia na tentativa de manter velocidade. Todavia o aumento no percentual de tempo da fase subaquática e do índice de coordenação não foram suficientes para impedir decréscimo na velocidade de nado. Velocidade da mão diminuiu provavelmente devido a um decréscimo na eficiência do movimento executado pela mão, capacidade de gerar força propulsiva e desalinhamento corporal por provável processo de fadiga instaurado.

O amplitude antero-posterior de braçada diferiu entre os grupos e reduziu ao longo do teste. Devido importância da distância percorrida pelo corpo por braçada na melhoria do desempenho, seria benéfico para nadadores praticarem treinamento para aumentar sua amplitude e tentar resistir sua redução na sustentação ao longo do desempenho. Por outro lado, a diminuição na frequência de braçada foi a principal responsável pela queda de desempenho e treinamento para sua manutenção no decorrer da sustentação do desempenho se faz necessária.

Como aplicação prática, os resultados apresentam um panorama para técnicos sobre variáveis de distinção de desempenho de nadadores, relação com classificação funcional para os nadadores paralímpicos, características de simetria e alterações ocorridas com a sustentação de desempenho em altas velocidades. Estas informações contribuem com fundamentação objetiva aos técnicos para que obtenham novas ideias para aprimorar o desempenho, intervir sobre assimetrias excessivas e manter mais estáveis os parâmetros de nado no decorrer de uma prova.

Nadadores de níveis de classificação funcional mais baixa (isto é, S1-S4) não foram incluídos e compreendem uma limitação do estudo. Análise do movimento de nadadores paratletas mais acometidos pela deficiência, assim como mensuração de um tamanho amostral que permita comparações entre as diferentes classes são necessários para um melhor entendimento da modalidade, que possui grande lacuna na literatura até o momento. Em adição, estudos futuros que incluam análise de parâmetros de força, ativação muscular e aspectos fisiológicos são incentivados a fim de compreender as influências destas variáveis nos diferentes níveis de desempenho.

REFERENCIAS

ALBERTY, M.; POTDEVIN, F.; DEKERLE, J.; PELAYO, P.; GORCE, P.; SIDNEY, M. Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. **Journal of sports sciences**, v. 26, n. 11, p. 1191-1200, 2008. ISSN 0264-0414.

ALBERTY, M.; SIDNEY, M.; HUOT-MARCHAND, F.; HESPEL, J.; PELAYO, P. Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke. **International journal of sports medicine**, v. 26, n. 06, p. 471-475, 2005. ISSN 0172-4622.

ALBERTY, M.; SIDNEY, M.; PELAYO, P.; TOUSSAINT, H. Strokking characteristics during time to exhaustion tests. **Medicine+ Science in Sports+ Exercise**, v. 41, n. 3, p. 637, 2009. ISSN 0195-9131.

APOLINÁRIO, M. R.; DE OLIVEIRA, T. A. C.; DA SILVA, C. G. S.; TERTULIANO, I. W. **Estratégias para o ensino de natação**. Phorte Editora LTDA, 2017. ISBN 8576555549.

ARELLANO, R.; BROWN, P. Analysis of 50-, 100-, and 200-m Freestyle Swimmers at the 1992 Olympic Games. **Journal of applied biomechanics**, v. 10, p. 189-199, 1994.

ARFAOUI, A.; VIOREL POPA, C.; TAÏAR, R.; POLIDORI, G.; FOHANNO, S. Numerical streamline patterns at swimmer's surface using RANS equations. **Journal of applied biomechanics**, v. 28, n. 3, 2012. ISSN 1065-8483.

BARBOSA, A. C.; CASTRO, F. D. S.; DOPSAJ, M.; CUNHA, S. A.; JÚNIOR, O. A. Acute responses of biomechanical parameters to different sizes of hand paddles in front-crawl stroke. **Journal of sports sciences**, v. 31, n. 9, p. 1015-1023, 2013. ISSN 0264-0414.

BARBOSA, T. M.; FERNANDES, R. J.; MOROUCO, P.; VILAS-BOAS, J. P. Predicting the intracyclic variation of the velocity of the centre of mass from segmental velocities in butterfly stroke: A pilot study. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. J Sports Sci Med, p. 201-209, 2008. ISSN 1303-2968.

BENFICA, D. T. **ESPORTE PARALÍMPICO: ANALISANDO SUAS CONTRIBUIÇÕES NAS (RE) SIGNIFICAÇÕES DO ATLETA COM DEFICIÊNCIA**. 2012. Universidade Federal de Viçosa

BERGER, M. A. Determining propulsive force in front crawl swimming: a comparison of two methods. **Journal of sports sciences**, v. 17, n. 2, p. 97-105, 1999. ISSN 0264-0414.

BERNARDI, M.; CASTELLANO, V.; FERRARA, M. S.; SBRICCOLI, P.; SERA, F.; MARCHETTI, M. Muscle pain in athletes with locomotor disability. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 35, n. 2, p. 199-206, 2003. ISSN 0195-9131.

BERNARDINA, G. R.; CERVERI, P.; BARROS, R. M.; MARINS, J. C.; SILVATTI, A. P. Action Sport Cameras as an Instrument to Perform a 3D Underwater Motion Analysis. **PloS one**, v. 11, n. 8, p. e0160490, 2016. ISSN 1932-6203.

BILINAUSKAITE, M.; MANTHA, V. R.; ROUBOA, A. I.; ZILIUKAS, P.; SILVA, A. J. Computational fluid dynamics study of swimmer's hand velocity, orientation, and shape: contributions to hydrodynamics. **BioMed research international**, v. 2013, 2013. ISSN 2314-6133.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. **The lancet**, v. 327, n. 8476, p. 307-310, 1986. ISSN 0140-6736.

BURKETT, B.; MELLIFONT, R. Sport science and coaching in Paralympic swimming. **International Journal of Sports Science & Coaching**, v. 3, n. 1, p. 105-112, 2008. ISSN 1747-9541.

BURKETT, B.; MELLIFONT, R.; MASON, B. The influence of swimming start components for selected Olympic and Paralympic swimmers. **Journal of applied biomechanics**, v. 26, n. 2, p. 134-141, 2010. ISSN 1065-8483.

CAPPAERT, J. M.; PEASE, D. L.; TROUP, J. P. Three-Dimensional Analysis of the Men's 100-m Freestyle during the 1992 Olympic Games. **Journal of applied biomechanics**, v. 11, n. 1, p. 103-112, 1995. ISSN 1065-8483.

CASTRO, F. A.; GUIMARÃES, A. C. S.; MORÉ, F. C.; LAMMERHIRT, H. M.; MAQUES, A. C. Cinemática do nado "crawl" sob diferentes intensidades e condições de respiração de nadadores e triatletas. **Revista Brasileira de Educação Física e Esporte**, v. 19, n. 3, p. 223-232, 2005. ISSN 1981-4690.

CASTRO, F. A. D. S.; VILLAS-BOAS, J. P.; GUIMARÃES, A. C. S. Effects of swimming intensity and breathing in front crawl body roll angles for swimmers and triathletes. **Brazilian Journal of Biomechanics= Revista Brasileira de Biomecânica**, v. 7, n. 13, p. 85-90, 2007. ISSN 1983-2710.

CECCON, S.; CESERACCIU, E.; SAWACHA, Z.; GATTA, G.; CORTESI, M.; COBELLI, C. et al. Motion analysis of front crawl swimming applying CAST technique by means of automatic tracking. **Journal of sports sciences**, v. 31, n. 3, p. 276-287, 2013. ISSN 0264-0414.

CESERACCIU, E.; SAWACHA, Z.; FANTOZZI, S.; CORTESI, M.; GATTA, G.; CORAZZA, S. et al. Markerless analysis of front crawl swimming. **Journal of biomechanics**, v. 44, n. 12, p. 2236-2242, 2011. ISSN 0021-9290.

CESERACCIU E, S. Z., FANTOZZI S, CORTESI M, GATTA G, CORAZZA S, COBELLI C. Markerless analysis of front crawl swimming. **Journal of biomechanics**, v. 44, n. 12, p. 2236-2242, 2011. ISSN 0021-9290.

CHEN, L.; ARMSTRONG, C. W.; RAFTOPOULOS, D. D. An investigation on the accuracy of three-dimensional space reconstruction using the direct linear transformation technique. **Journal of biomechanics**, v. 27, n. 4, p. 493-500, 1994. ISSN 0021-9290.

CHOLLET, D.; CHALIES, S.; CHATARD, J. A new index of coordination for the crawl: description and usefulness. **International journal of sports medicine**, v. 21, n. 1, p. 54-59, 2000. ISSN 0172-4622.

CHOLLET, D.; DELAPLACE, C.; PELAYO, P.; TOURNY, C.; SIDNEY, M. Stroking characteristic variations in the 100-m freestyle for male swimmers of differing skill. **Perceptual and Motor Skills**, v. 85, n. 1, p. 167-177, 1997. ISSN 0031-5125.

CRAIG, A. B.; PENDERGAST, D. R. Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 11, n. 3, p. 278-83, 1979.

CRAIG, A. B.; SKEHAN, P. L.; PAWELCZYK, J. A.; BOOMER, W. L. Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 17, n. 6, p. 625-634, 1985.

DA COSTA, A. M.; DOS SANTOS, S. S. Participação do Brasil nos Jogos Paraolímpicos de Sydney: apresentação e análise. **Atlanta**, v. 2, n. 6, p. 13, 2002.

DALY, D.; MARTENS, J. Competitive swimming and disabilities. 2011. ISSN 1616682027.

DALY, D. J.; MALONE, L. A.; SMITH, D. J.; VANLANDEWIJCK, Y.; STEADWARD, R. D. The Contribution of Starting, Turning, and Finishing to Total Race Performance in Male Paralympic Swimmers. **Adapted Physical Activity Quarterly**, v. 18, n. 3, 2001. ISSN 0736-5829.

DE AMORIM OLIVEIRA, G. T.; DOS SANTOS, P. G. M. D.; BATISTA, G. R.; SANTOS, A. R. R. Fatores motivacionais em paratletas com deficiência visual e motora praticantes de natação e atletismo. **CONEXÕES: Revista da Faculdade de Educação Física da UNICAMP**, v. 11, n. 1, p. 29-41, 2013.

DE JESUS, K.; SANDERS, R.; RIBEIRO, J.; FIGUEIREDO, P.; VILAS-BOAS, J.; FERNANDES, R. The Effect of Intensity on Three-Dimensional Kinematics and Coordination in Front

Crawl Swimming. **International journal of sports physiology and performance**, 2015. ISSN 1555-0265.

DE OLIVEIRA, G. T. S. Relações entre desempenho em 200m nado crawl e variáveis cinéticas do teste de nado estacionário **Rev. Bras. Cienc. Esporte**, v. 31, n. 3, p. 161-176, 2010.

DEKERLE, J.; NESI, X.; LEFEVRE, T.; DEPRETZ, S.; SIDNEY, M.; MARCHAND, F. H. et al. Stroking parameters in front crawl swimming and maximal lactate steady state speed. **International journal of sports medicine**, v. 26, n. 01, p. 53-58, 2005. ISSN 0172-4622.

DENADAI, B. S. Determinação do limiar anaeróbio em jogadores de futebol com paralisia cerebral e nadadores participantes da Paraolimpíada de Sidney 2000. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 8, n. 3, p. 117-121, 2002.

DI RUSSO, F.; BULTRINI, A.; BRUNELLI, S.; DELUSSU, A. S.; POLIDORI, L.; TADDEI, F. et al. Benefits of sports participation for executive function in disabled athletes. **Journal of neurotrauma**, v. 27, n. 12, p. 2309-2319, 2010. ISSN 0897-7151.

DINGLEY, A.; PYNE, D.; BURKETT, B. Dry-land Bilateral Hand-force Production and Swimming Performance in Paralympic Swimmers. **International journal of sports medicine**, v. 35, n. 11, p. 949-953, 2014. ISSN 0172-4622.

DINGLEY, A. A.; PYNE, D. B.; BURKETT, B. Phases of the swim-start in Paralympic swimmers are influenced by severity and type of disability. **Journal of applied biomechanics**, v. 30, n. 5, p. 643-648, 2014. ISSN 1065-8483.

_____. Relationships Between Propulsion and Anthropometry in Paralympic Swimmers. **International Journal of Sports Physiology & Performance**, v. 10, n. 8, 2015. ISSN 1555-0265.

DOS SANTOS, K.; PEREIRA, G.; PAPOTI, M.; BENTO, P.; RODACKI, A. Propulsive Force Asymmetry during Tethered-Swimming. **International journal of sports medicine**, v. 34, n. 07, p. 606-611, 2013. ISSN 0172-4622.

DOS SANTOS, S. S.; GUIMARÃES, F. J. D. S. P. Avaliação antropométrica e de composição corporal de atletas paraolímpicos brasileiros. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 8, n. 3, p. 84-91, 2002a.

_____. Avaliação biomecânica de atletas paraolímpicos brasileiros. **Rev Bras Med Esporte**, v. 8, n. 3, 2002b.

ENGBRETSSEN, L.; SOLIGARD, T.; STEFFEN, K.; ALONSO, J. M.; AUBRY, M.; BUDGETT, R. et al. Sports injuries and illnesses during the London Summer Olympic Games 2012. **British journal of sports medicine**, v. 47, n. 7, p. 407-414, 2013. ISSN 1473-0480.

EVERSHED, J.; BURKETT, B.; MELLIFONT, R. Musculoskeletal screening to detect asymmetry in swimming. **Physical Therapy in Sport**, v. 15, n. 1, p. 33-38, 2014. ISSN 1466-853X.

FERNANDES, R.; RIBEIRO, J.; FIGUEIREDO, P.; SEIFERT, L.; VILAS-BOAS, J. Kinematics of the hip and body center of mass in front crawl. **Journal of human kinetics**, v. 33, p. 15-23, 2012. ISSN 1899-7562.

FIGUEIREDO, P.; BARBOSA, T. M.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J. Energy cost and body centre of mass' 3D intracycle velocity variation in swimming. **European journal of applied physiology**, v. 112, n. 9, p. 3319-3326, 2012. ISSN 1439-6319.

FIGUEIREDO, P.; MACHADO, L.; VILAS-BOAS, J.; FERNANDES, R. Reconstruction error of calibration volume's coordinates for 3D swimming kinematics. **Journal of human kinetics**, v. 29, p. 35-40, 2011. ISSN 1899-7562.

FIGUEIREDO, P.; PENDERGAST, D. R.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J. Interplay of Biomechanical, Energetic, Coordinative, and Muscular Factors in a 200 m Front Crawl Swim. **BioMed research international**, v. 2013, p. 1-12, 2013. ISSN 2314-6133.

FIGUEIREDO, P.; SANDERS, R.; GORSKI, T.; VILAS-BOAS, J.; FERNANDES, R. Kinematic and electromyographic changes during 200 m front crawl at race pace. **Int J Sports Med**, v. 34, n. 01, p. 49-55, 2013.

FIGUEIREDO, P.; SEIFERT, L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J. Individual profiles of spatio-temporal coordination in high intensity swimming. **Human movement science**, v. 31, n. 5, p. 1200-1212, 2012. ISSN 0167-9457.

FIGUEIREDO, P.; SILVA, A.; SAMPAIO, A.; VILAS-BOAS, J.; FERNANDES, R. Front Crawl Sprint Performance: A Cluster Analysis of Biomechanics, Energetics, Coordinative, and Anthropometric Determinants in Young Swimmers. **Motor control**, v. 20, n. 3, p. 209-221, 2015. ISSN 1087-1640.

FIGUEIREDO, P.; VILAS BOAS, J.; MAIA, J.; GONCALVES, P.; FERNANDES, R. Does the hip reflect the centre of mass swimming kinematics? **International journal of sports medicine**, v. 30, n. 11, p. 779, 2009. ISSN 0172-4622.

FLEISS, J. L. **Design and analysis of clinical experiments**. John Wiley & Sons, 2011. ISBN 1118031172.

FORMOSA, D. P.; SAYERS, M. G.; BURKETT, B. Front-crawl stroke-coordination and symmetry: A comparison between timing and net drag force protocols. **Journal of sports sciences**, v. 31, n. 7, p. 759-766, 2013. ISSN 0264-0414.

_____. Quantifying stroke coordination during the breathing action in front-crawl swimming using an instantaneous net drag force profile. **Journal of sports sciences**, v. 32, n. 18, p. 1729-1737, 2014. ISSN 0264-0414.

FRANKEN, M.; DIEFENTHAELER, F.; MORÉ, F. C.; SILVEIRA, R. P.; CASTRO, F. A. D. S. Critical stroke rate as a parameter for evaluation in swimming. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 19, n. 4, p. 724-729, 2013. ISSN 1980-6574. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/motriz/v19n4/a09v19n4.pdf> >.

FULTON, S. K.; PYNE, D.; BURKETT, B. Optimizing kick rate and amplitude for Paralympic swimmers via net force measures. **Journal of sports sciences**, v. 29, n. 4, p. 381-387, 2011. ISSN 0264-0414.

FULTON, S. K.; PYNE, D. B.; BURKETT, B. Validity and reliability of kick count and rate in freestyle using inertial sensor technology. **Journal of sports sciences**, v. 27, n. 10, p. 1051-1058, 2009. ISSN 0264-0414.

FULTON, S. K.; PYNE, D. B.; HOPKINS, W. G.; BURKETT, B. Variability and progression in competitive performance of Paralympic swimmers. **Journal of sports sciences**, v. 27, n. 5, p. 535-539, 2009. ISSN 0264-0414.

_____. Training characteristics of paralympic swimmers. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 24, n. 2, p. 471-478, 2010. ISSN 1064-8011.

GARATACHEA, N.; ABADÍA, O.; GARCÍA-ISLA, F. J.; SARASA, F. J.; BRESCIANI, G.; GONZÁLEZ-GALLEGO, J. et al. Determination and validity of critical swimming velocity in elite physically disabled swimmers. **Disability and rehabilitation**, v. 28, n. 24, p. 1551-1556, 2006. ISSN 0963-8288.

GEHLSSEN, G. M.; KARPUK, J. Analysis of the NWAA swimming classification system. **Adapted Physical Activity Quarterly**, v. 9, n. 2, p. 141-147, 1992. ISSN 0736-5829.

GIROLD, S.; CALMELS, P.; MAURIN, D.; MILHAU, N.; CHATARD, J.-C. Assisted and resisted sprint training in swimming. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 20, n. 3, p. 547-554, 2006. ISSN 1064-8011.

GIROLD, S.; JALAB, C.; BERNARD, O.; CARETTE, P.; KEMOUN, G.; DUGUÉ, B. Dry-land strength training vs. electrical stimulation in sprint swimming performance. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 26, n. 2, p. 497-505, 2012. ISSN 1064-8011.

GIROLD, S.; MAURIN, D.; DUGUE, B.; CHATARD, J.-C.; MILLET, G. Effects of dry-land vs. resisted-and assisted-sprint exercises on swimming sprint performances. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 21, n. 2, p. 599-605, 2007. ISSN 1064-8011.

GOMES, L. E.; MELO, M. D. O.; TREMEA, V. W.; TORRE, M. L.; SILVA, Y. O. D.; CASTRO, F. D. S. et al. Position of arm and forearm, and elbow flexion during performance of the sculling technique: Technical recommendation versus actual performance. **Motriz: Revista de Educação Física**, v. 20, n. 1, p. 33-41, 2014. ISSN 1980-6574. Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/motriz/v20n1/1980-6574-motriz-20-01-00033.pdf> >.

GOURGOULIS, V.; AGGELOUSSIS, N.; KASIMATIS, P.; VEZOS, N.; BOLI, A.; MAVROMATIS, G. Reconstruction accuracy in underwater three-dimensional kinematic analysis. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 11, n. 2, p. 90-95, 2008. ISSN 1440-2440.

GOURGOULIS, V.; AGGELOUSSIS, N.; VEZOS, N.; MAVROMATIS, G. Effect of two different sized hand paddles on the front crawl stroke kinematics. **Journal of Sports Medicine and Physical Fitness**, v. 46, n. 2, p. 232, 2006. ISSN 0022-4707.

GOURGOULIS, V.; ANTONIOU, P.; AGGELOUSSIS, N.; MAVRIDIS, G.; KASIMATIS, P.; VEZOS, N. et al. Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. **Journal of sports sciences**, v. 28, n. 11, p. 1165-1173, 2010. ISSN 0264-0414.

GOZLAN, G.; BENSOUSSAN, L.; COUDREUSE, J.-M.; FONDARAI, J.; GREMEAUX, V.; VITON, J.-M. et al. **Mesure de la force des muscles rotateurs de l'épaule chez des sportifs sains de haut niveau (natation, volley-ball, tennis) par dynamomètre isocinétique: comparaison entre épaule dominante et non dominante.** Annales de réadaptation et de médecine physique. 49: 8-15 p. 2006.

GREGUOL, M. **Natação adaptada: em busca do movimento com autonomia.** São Paulo: 2010.

HAGGARD, P.; WING, A. M. Assessing and reporting the accuracy of position measurements made with optical tracking systems. **Journal of Motor Behavior**, v. 22, n. 2, p. 315-321, 1990. ISSN 0022-2895.

HELLARD, P.; DEKERLE, J.; AVALOS, M.; CAUDAL, N.; KNOPP, M.; HAUSSWIRTH, C. Kinematic measures and stroke rate variability in elite female 200-m swimmers in the four swimming techniques: Athens 2004 Olympic semi-finalists and French National 2004 Championship semi-finalists. **Journal of sports sciences**, v. 26, n. 1, p. 35-46, 2008. ISSN 0264-0414.

HOUEL, N.; ELIPOT, M.; ANDRÉ, F.; HELLARD, P. Influence of angles of attack, frequency and kick amplitude on swimmer's horizontal velocity during underwater phase of a grab start. **Journal of applied biomechanics**, v. 29, n. 1, 2013. ISSN 1065-8483.

JASZCZAK, M. The dynamical asymmetry of the upper extremities during symmetrical exercises. **Human movement**, v. 9, n. 2, p. 116-120, 2008. ISSN 1899-1955.

KARSAI, I.; GARRIDO, N.; LOURO, H.; LEITÃO, L.; MAGYAR, F.; ALVES, F. et al. Force production and spatial arm coordination profile in arm crawl swimming in a fixed position. **Acta Physiologica Hungarica**, v. 97, n. 4, p. 385-392, 2010. ISSN 0231-424X.

KATELARIS, C. H.; CARROZZI, F. M.; BURKE, T. V.; BYTH, K. Patterns of allergic reactivity and disease in Olympic athletes. **Clinical Journal of Sport Medicine**, v. 16, n. 5, p. 401-405, 2006. ISSN 1050-642X.

KENNEDY, M. D.; TAMMINEN, K. A.; HOLT, N. L. Factors that influence fatigue status in Canadian university swimmers. **Journal of sports sciences**, v. 31, n. 5, p. 554-564, 2013. ISSN 0264-0414.

KESKINEN, K. L.; KOMI, P. V. Strokking characteristics of front crawl swimming during exercise. **Journal of applied biomechanics**, v. 9, n. 3, p. 219-226, 1993. ISSN 1065-8483.

KOMAR, J.; LEPRÊTRE, P. M.; ALBERTY, M.; VANTORRE, J.; FERNANDES, R. J.; HELLARD, P. et al. Effect of increasing energy cost on arm coordination in elite sprint swimmers. **Human movement science**, v. 31, n. 3, p. 620-629, 2012. ISSN 0167-9457.

KWON, Y.-H. Object plane deformation due to refraction in two-dimensional underwater motion analysis. **Resultados da pesquisa**

Journal of Applied Biomechanics, v. 15, n. 4, 1999.

LAUDER, M.; DABNICHKI, P.; BARTLETT, R. Three-dimensional reconstruction accuracy within a calibrated volume. **The engineering of sport: design and development. United Kingdom: Blackwell Science**, p. 441-448, 1998.

LECRIVAIN, G.; PAYTON, C.; SLAOUTI, A.; KENNEDY, I. Effect of body roll amplitude and arm rotation speed on propulsion of arm amputee swimmers. **Journal of biomechanics**, v. 43, n. 6, p. 1111-1117, 2010. ISSN 0021-9290.

LECRIVAIN, G.; SLAOUTI, A.; PAYTON, C.; KENNEDY, I. Using reverse engineering and computational fluid dynamics to investigate a lower arm amputee swimmer's performance. **Journal of biomechanics**, v. 41, n. 13, p. 2855-2859, 2008. ISSN 0021-9290.

LEE, C. J.; SANDERS, R. H.; PAYTON, C. J. Changes in force production and stroke parameters of trained able-bodied and unilateral arm-amputee female swimmers during a 30 s tethered front-crawl swim. **Journal of sports sciences**, v. 32, n. 18, p. 1704-1711, 2014. ISSN 0264-0414.

LEE, J.; MELLIFONT, R.; WINSTANLEY, J.; BURKETT, B. Body roll in simulated freestyle swimming. **International journal of sports medicine**, v. 29, n. 07, p. 569-573, 2008. ISSN 0172-4622.

MAGEL, J. R. Propelling force measured during tethered swimming in the four competitive swimming styles. **Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation**, v. 41, n. 1, p. 68-74, 1970. ISSN 1067-1188.

MAGLISCHO, E. W. **Swimming fastest**. Human Kinetics, 2003. ISBN 0736031804.

MALONE, L. A.; SANDERS, R. H.; SCHILTZ, J. H.; STEADWARD, R. D. Effects of visual impairment on stroke parameters in Paralympic swimmers. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 33, n. 12, p. 2098-2103, 2001. ISSN 0195-9131.

MARINHO, D. A.; REIS, V. M.; ALVES, F. B.; VILAS-BOAS, J. P.; MACHADO, L.; SILVA, A. J. et al. Hydrodynamic drag during gliding in swimming. **Journal of applied biomechanics**, v. 25, n. 3, 2009. ISSN 1065-8483.

MATOS, C. C. D.; BARBOSA, A. C.; CASTRO, F. A. D. S. The use of hand paddles and fins in front crawl: biomechanical and physiological responses. **Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano**, v. 15, n. 3, p. 382-392, 2013. ISSN 1980-0037.

MATTHEWS, M. J.; GREEN, D.; MATTHEWS, H.; SWANWICK, E. The effects of swimming fatigue on shoulder strength, range of motion, joint control, and performance in swimmers. **Physical Therapy in Sport**, v. 23, p. 118-122, 2017. ISSN 1466-853X.

MCCABE, C. B.; PSYCHARAKIS, S.; SANDERS, R. Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at sprint pace. **Journal of sports sciences**, v. 29, n. 2, p. 115-123, 2011. ISSN 0264-0414.

MCCABE, C. B.; SANDERS, R. H. Kinematic differences between front crawl sprint and distance swimmers at a distance pace. **Journal of sports sciences**, v. 30, n. 6, p. 601-608, 2012. ISSN 0264-0414.

MCCABE, C. B.; SANDERS, R. H.; PSYCHARAKIS, S. G. Upper limb kinematic differences between breathing and non-breathing conditions in front crawl sprint swimming. **Journal of biomechanics**, v. 48, n. 15, p. 3995-4001, 2015. ISSN 0021-9290.

MCDONNELL, L.; HUME, P.; NOLTE, V. Sprint kayaking stroke rate reliability, variability and validity of the digitrainer accelerometer compared to GoPro video measurement. ISBS-Conference Proceedings Archive, 2012.

MEDEIROS, R.; DA SILVA, A. E.; DE AQUINO, L. V.; SCHWINGEL, P.; DA SILVA, A.; VITAL, R. et al. Assessment of Body Composition and Sport Performance of Brazilian Paralympic Swimming Team Athletes. **Journal of sport rehabilitation**, 2015. ISSN 1056-6716.

MILLET, G.; CHOLLET, D.; CHALIES, S.; CHATARD, J. Coordination in front crawl in elite triathletes and elite swimmers. **International journal of sports medicine**, v. 23, n. 02, p. 99-104, 2002. ISSN 0172-4622.

MINETTI, A. E.; MACHTSIRAS, G.; MASTERS, J. C. The optimum finger spacing in human swimming. **Journal of biomechanics**, v. 42, n. 13, p. 2188-2190, 2009. ISSN 0021-9290.

MOROUÇO, P. G.; MARINHO, D. A.; IZQUIERDO, M.; NEIVA, H.; MARQUES, M. C. Relative contribution of arms and legs in 30 s fully tethered front crawl swimming. **BioMed research international**, v. 2015, 2015. ISSN 2314-6133.

MORRIËN, F.; TAYLOR, M. J.; HETTINGA, F. J. Biomechanics in Paralympics: Implications for Performance. **International journal of sports physiology and performance**, p. 1-34, 2016. ISSN 1555-0265.

NASIRZADE, A.; SADEGHI, A.; SOBHKHIZ, A.; MOHAMMADIAN, K.; NIKOUEI, A.; BAGHAIYAN, M. et al. Multivariate analysis of 200-m front crawl swimming performance in young male swimmers. **Acta of bioengineering and biomechanics**, v. 17, n. 3, 2015. ISSN 1509-409X.

NIKODELIS, T.; KOLLIAS, I.; HATZITAKI, V. Bilateral inter-arm coordination in freestyle swimming: Effect of skill level and swimming speed. **Journal of sports sciences**, v. 23, n. 7, p. 737-745, 2005. ISSN 0264-0414.

OH, Y.-T. **Passive and active drag of paralympic swimmers**. 2015. Manchester Metropolitan University

OH, Y.-T.; BURKETT, B.; OSBOROUGH, C.; FORMOSA, D.; PAYTON, C. London 2012 Paralympic swimming: passive drag and the classification system. **British journal of sports medicine**, v. 47, n. 13, p. 838-843, 2013. ISSN 1473-0480.

OLIVIER, N.; QUINTIN, G.; ROGEZ, J. [The high level swimmer articular shoulder complex]. *Annales de readaptation et de medecine physique: revue scientifique de la Societe francaise de reeducation fonctionnelle de readaptation et de medecine physique*, 2008. p.342-347.

OLSTAD, B. H.; VAZ, J. R.; ZINNER, C.; CABRI, J. M.; KJENDLIE, P.-L. Muscle coordination, activation and kinematics of world-class and elite breaststroke swimmers during submaximal and maximal efforts. **Journal of sports sciences**, p. 1-11, 2016. ISSN 0264-0414.

OSBOROUGH, C. D.; PAYTON, C. J.; DALY, D. J. Relationships between the front crawl stroke parameters of competitive unilateral arm amputee swimmers, with selected anthropometric characteristics. **Journal of applied biomechanics**, v. 25, n. 4, p. 304-312, 2009. ISSN 1065-8483.

_____. Influence of swimming speed on inter-arm coordination in competitive unilateral arm amputee front crawl swimmers. **Human movement science**, v. 29, n. 6, p. 921-931, 2010. ISSN 0167-9457.

PAGANI, L. G. Análise motivacional de atletas do paradesporto de nível nacional. **RBPFX-Revista Brasileira de Prescrição e Fisiologia do Exercício**, v. 6, n. 34, 2012. ISSN 1981-9900.

PAI, Y. C.; HAY, J. G.; WILSON, B. D. Stroking techniques of elite swimmers. **Journal of sports sciences**, v. 2, n. 3, p. 225-239, 1984. ISSN 0264-0414.

PAYTON, C. J.; BARTLETT, R. M. Estimating propulsive forces in swimming from three-dimensional kinematic data. **Journal of sports sciences**, v. 13, n. 6, p. 447-454, 1995. ISSN 0264-0414.

PAYTON, C. J.; BARTLETT, R. M.; BALTZOPOULOS, V.; COOMBS, R. Upper extremity kinematics and body roll during preferred-side breathing and breath-holding front crawl swimming. **Journal of sports sciences**, v. 17, n. 9, p. 689-696, 1999. ISSN 0264-0414.

PELAYO, P.; MORETTO, P.; ROBIN, H.; SIDNEY, M.; GERBEAUX, M.; LATOUR, M. G. et al. Adaptation of maximal aerobic and anaerobic tests for disabled swimmers. **European journal of applied physiology and occupational physiology**, v. 71, n. 6, p. 512-517, 1995. ISSN 0301-5548.

PELAYO, P.; SIDNEY, M.; MORETTO, P.; WILLE, F.; CHOLLET, D. Stroking parameters in top level swimmers with a disability. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 31, n. 12, p. 1839-1843, 1999. ISSN 0195-9131.

PSYCHARAKIS, S.; NAEMI, R.; CONNABOY, C.; MCCABE, C.; SANDERS, R. Three-dimensional analysis of intracycle velocity fluctuations in frontcrawl swimming. **Scandinavian journal of medicine & science in sports**, v. 20, n. 1, p. 128-135, 2010. ISSN 1600-0838.

PSYCHARAKIS, S.; SANDERS, R. Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. **Medicine+ Science in Sports+ Exercise**, v. 40, n. 12, p. 2129, 2008. ISSN 0195-9131.

PSYCHARAKIS, S. G.; SANDERS, R. H. Validity of the use of a fixed point for intracycle velocity calculations in swimming. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v. 12, n. 2, p. 262-265, 2009. ISSN 1440-2440.

PUEL, F.; MORLIER, J.; AVALOS, M.; MESNARD, M.; CID, M.; HELLARD, P. 3D kinematic and dynamic analysis of the front crawl tumble turn in elite male swimmers. **Journal of biomechanics**, v. 45, n. 3, p. 510-515, 2012. ISSN 0021-9290.

RIBEIRO, J.; FIGUEIREDO, P.; MORAIS, S.; ALVES, F.; TOUSSAINT, H.; VILAS-BOAS, J. P. et al. Biomechanics, energetics and coordination during extreme swimming intensity: effect of performance level. **Journal of sports sciences**, p. 1-8, 2016. ISSN 0264-0414.

ROBINSON, R.; HERZOG, W.; NIGG, B. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. **Journal of manipulative and physiological therapeutics**, v. 10, n. 4, p. 172-176, 1987. ISSN 0161-4754.

RUSS, D. W. In-season management of shoulder pain in a collegiate swimmer: a team approach. **Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy**, v. 27, n. 5, p. 371-376, 1998. ISSN 0190-6011.

SAMSON, M.; MONNET, T.; BERNARD, A.; LACOUTURE, P.; DAVID, L. Kinematic hand parameters in front crawl at different paces of swimming. **Journal of biomechanics**, v. 48, n. 14, p. 3743-3750, 2015. ISSN 0021-9290.

SANDERS, R. H.; FAIRWEATHER, M. M.; ALCOCK, A.; MCCABE, C. B. An approach to identifying the effect of technique asymmetries on body alignment in swimming exemplified by a case study of a breaststroke swimmer. **Journal of sports science & medicine**, v. 14, n. 2, p. 304, 2015.

SANDERS, R. H.; GONJO, T.; MCCABE, C. Reliability of three-dimensional linear kinematics and kinetics of swimming derived from digitized video at 25 and 50 Hz with 10 and 5 frame extensions to the 4th order Butterworth smoothing window. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 14, p. 441-451, 2015. ISSN 1303-2968.

SANDERS, R. H.; THOW, J.; FAIRWEATHER, M. Asymmetries in swimming: Where do they come from. **Journal of Swimming Science**, v. 18, n. 1-11, 2011.

SANTOS, K. B.; LARA, J. P.; RODACKI, A. L. Reproducibility, repeatability and accuracy analysis of three-dimensional kinematics of the front crawl stroke trajectories in impaired swimmers **Journal of Physical Education and Sport**, v. 17, n. 01, p. 367-370, 2017. ISSN 2247 - 8051.

SATKUNSKIENE, D.; SCHEGA, L.; KUNZE, K.; BIRZINYTE, K.; DALY, D. Coordination in arm movements during crawl stroke in elite swimmers with a loco-motor disability. **Human movement science**, v. 24, n. 1, p. 54-65, 2005. ISSN 0167-9457.

SCHLEIHAUF, R. E.; HIGGINS, J. R.; HINRICHS, R.; LUEDTKE, D.; MAGLISCHO, C.; MAGLISCHO, E. et al. Propulsive techniques: front crawl stroke, butterfly, backstroke, and breaststroke. **Swimming science V**, p. 53-59, 1988.

SCHNITZLER, C.; SEIFERT, L.; CHOLLET, D. Arm coordination and performance level in the 400-m front crawl. **Research quarterly for exercise and sport**, v. 82, n. 1, p. 1-8, 2011. ISSN 0270-1367.

SCHREVEN, S.; BEEK, P. J.; SMEETS, J. B. Optimising filtering parameters for a 3D motion analysis system. **Journal of Electromyography and Kinesiology**, v. 25, n. 5, p. 808-814, 2015. ISSN 1050-6411.

SEIFERT, L.; BOULESTEIX, L.; CARTER, M.; CHOLLET, D. The spatial-temporal and coordinative structures in elite male 100-m front crawl swimmers. **International journal of sports medicine**, v. 26, n. 04, p. 286-293, 2005. ISSN 0172-4622.

SEIFERT, L.; BOULESTEIX, L.; CHOLLET, D. Effect of gender on the adaptation of arm coordination in front crawl. **International journal of sports medicine**, v. 25, n. 03, p. 217-223, 2004. ISSN 0172-4622.

SEIFERT, L.; CHEHENSSE, A.; TOURNY-CHOLLET, C.; LEMAITRE, F.; CHOLLET, D. Effect of breathing pattern on arm coordination symmetry in front crawl. **The Journal of Strength & Conditioning Research**, v. 22, n. 5, p. 1670-1676, 2008. ISSN 1064-8011.

SEIFERT, L.; CHOLLET, D.; ALLARD, P. Arm coordination symmetry and breathing effect in front crawl. **Human movement science**, v. 24, n. 2, p. 234-256, 2005. ISSN 0167-9457.

SEIFERT, L.; CHOLLET, D.; CHATARD, J. C. Kinematic changes during a 100-m front crawl: effects of performance level and gender. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 39, n. 10, p. 1784, 2007. ISSN 0195-9131.

SILVA, A.; FIGUEIREDO, P.; SOARES, S.; SEIFERT, L.; VILAS-BOAS, J. P.; FERNANDES, R. J. Front crawl technical characterization of 11-to 13-year-old swimmers. **Pediatric exercise science**, v. 24, n. 3, p. 409-419, 2012. ISSN 0899-8493.

SILVA, M. M. E.; BILZON, J.; DUARTE, E.; GORLA, J.; VITAL, R. Sport injuries in elite paralympic swimmers with visual impairment. **Journal of athletic training**, v. 48, n. 4, p. 493-498, 2013. ISSN 1062-6050.

SILVATTI, A. P. **Calibração de câmeras para análises subaquáticas de movimentos**. 2013. Universidade Estadual de Campinas

SILVATTI, A. P.; CERVERI, P.; TELLES, T.; DIAS, F. A.; BARONI, G.; BARROS, R. M. Quantitative underwater 3D motion analysis using submerged video cameras: accuracy analysis and trajectory reconstruction. **Computer methods in biomechanics and biomedical engineering**, v. 16, n. 11, p. 1240-1248, 2013. ISSN 1025-5842.

SILVATTI, A. P.; SALVE DIAS, F. A.; CERVERI, P.; BARROS, R. M. Comparison of different camera calibration approaches for underwater applications. **Journal of biomechanics**, v. 45, n. 6, p. 1112-1116, 2012. ISSN 0021-9290.

SLAWSON, S.; CONWAY, P.; JUSTHAM, L.; WEST, A. The development of an inexpensive passive marker system for the analysis of starts and turns in swimming. **Procedia Engineering**, v. 2, n. 2, p. 2727-2733, 2010. ISSN 1877-7058.

SMITH, D. J.; NORRIS, S. R.; HOGG, J. M. Performance evaluation of swimmers. **Sports medicine**, v. 32, n. 9, p. 539-554, 2002. ISSN 0112-1642.

SOARES, S. M.; FERNANDES, R. J.; MACHADO, J. L.; MAIA, J. A.; DALY, D. J.; VILAS-BOAS, J. P. Assessment of Fatigue Thresholds in 50-m All-Out Swimming. **International journal of sports physiology and performance**, v. 9, n. 6, p. 959-965, 2014. ISSN 1555-0265.

STIRN, I.; JARM, T.; KAPUS, V.; STROJNIK, V. Evaluation of muscle fatigue during 100-m front crawl. **European journal of applied physiology**, v. 111, n. 1, p. 101-113, 2011. ISSN 1439-6319.

SUITO, H.; IKEGAMI, Y.; NUNOME, H.; SANO, S.; SHINKAI, H.; TSUJIMOTO, N. The effect of fatigue on the underwater arm stroke motion in the 100-m front crawl. **Journal of applied biomechanics**, v. 24, n. 4, p. 316-324, 2008. ISSN 1065-8483.

SWIMMING, I. **Swimming Classification-Manual**: Feb 2005.

TAKAGI, H.; SUGIMOTO, S.; NISHIJIMA, N.; WILSON, B. Swimming: Differences in stroke phases, arm-leg coordination and velocity fluctuation due to event, gender and performance level in breaststroke. **Sports Biomechanics**, v. 3, n. 1, p. 15-27, 2004. ISSN 1476-3141.

TAYLOR, B. N. **Guidelines for Evaluating and Expressing the Uncertainty of NIST Measurement Results** (rev. DIANE Publishing, 2009. ISBN 1437915566.

TAYLOR, J. B.; SANTI, G.; MELLALIEU, S. D. Freestyle race pacing strategies (400 m) of elite able-bodied swimmers and swimmers with disability at major international championships. **Journal of sports sciences**, p. 1-8, 2016. ISSN 0264-0414.

TELLA, V.; TOCA-HERRERA, J.; GALLACH, J.; BENAVENT, J.; GONZÁLEZ, L.; ARELLANO, R. Effect of fatigue on the intra-cycle acceleration in front crawl swimming: A time-

frequency analysis. **Journal of biomechanics**, v. 41, n. 1, p. 86-92, 2008. ISSN 0021-9290.

THALHEIMER, W.; COOK, S. How to calculate effect size from published research: A simplified spreadsheet. **Retrieved November**, v. 1, p. 2014, 2002.

TOURNY-CHOLLET, C.; SEIFERT, L.; CHOLLET, D. Effect of force symmetry on coordination in crawl. **International journal of sports medicine**, v. 30, n. 03, p. 182-187, 2009. ISSN 0172-4622.

TOUSSAINT, H. M.; BEEK, P. J. Biomechanics of competitive front crawl swimming. **Sports medicine**, v. 13, n. 1, p. 8-24, 1992. ISSN 0112-1642.

TOUSSAINT, H. M.; CAROL, A.; KRANENBORG, H.; TRUIJENS, M. J. Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 38, n. 9, p. 1635, 2006. ISSN 0195-9131.

TWEEDY, S. M.; VANLANDEWIJCK, Y. C. International Paralympic Committee position stand—background and scientific principles of classification in Paralympic sport. **British journal of sports medicine**, v. 45, n. 4, p. 259-269, 2011. ISSN 1473-0480.

VEZOS, N.; GOURGOULIS, V.; AGGELOUSSIS, N.; KASIMATIS, P.; CHRISTOFORIDIS, C.; MAVROMATIS, G. Underwater stroke kinematics during breathing and breath-holding front crawl swimming. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 6, n. 1, p. 58-62, 2007.

VITAL, R.; LEITÃO, M. B.; MELLO, M. D.; TUFIK, S. Avaliação clínica dos atletas paraolímpicos. **Rev Bras Med Esporte**, v. 8, n. 3, p. 77-83, 2002.

VITAL, R.; SILVA, H.; SOUSA, R.; NASCIMENTO, R.; ROCHA, E. A.; MIRANDA, H. Lesões traumato-ortopédicas nos atletas paraolímpicos. **Rev Bras Med Esporte**, v. 13, n. 3, p. 165-8, 2007.

WEISS, M.; REISCHLE, K.; BOUWS, N.; SIMON, G.; WEICKER, H. Relationship of blood lactate accumulation to stroke rate and distance per stroke in top female swimmers. **Swimming Science V Champaign, IL: Human Kinetics**, p. 295-303, 1988.

WU, S. K.; WILLIAMS, T. Paralympic swimming performance, impairment, and the functional classification system. **Adapted Physical Activity Quarterly**, v. 16, p. 251-270, 1999. ISSN 0736-5829.

YANAI, T. Stroke frequency in front crawl: its mechanical link to the fluid forces required in non-propulsive directions. **Journal of biomechanics**, v. 36, n. 1, p. 53-62, 2003. ISSN 0021-9290.

_____. Buoyancy is the primary source of generating bodyroll in front-crawl swimming. **Journal of biomechanics**, v. 37, n. 5, p. 605-612, 2004. ISSN 0021-9290.

YANAI, T.; HAY, J. G.; GEROT, J. T. Three-dimensional videography of swimming with panning periscopes. **Journal of biomechanics**, v. 29, n. 5, p. 673-678, 1996. ISSN 0021-9290.

ZAÏDI, H.; FOHANNO, S.; TAÏAR, R.; POLIDORI, G. Turbulence model choice for the calculation of drag forces when using the CFD method. **Journal of biomechanics**, v. 43, n. 3, p. 405-411, 2010. ISSN 0021-9290.

ANEXOS

Questionário para caracterização da amostra e tempo do desempenho de 50 m em cada repetições de nado

Nome: _____

Deficiência: _____

Classificação funcional: _____

Data de nascimento: _____

Estatura: _____

Peso: _____

Envergadura: _____

Dominância: () destro () canhoto

Respiração usual: () bilateral () unilateral direita () unilateral esquerda

Principais provas que compete: _____

Melhor tempo de 50 e 100m crawl: _____

Anos de experiência competitiva: _____

Frequência, volume e horas de treino específico semanal: _____

Treino complementar: _____

Tempo:

Série 1: _____ Série 2 : _____ Série 3: _____ Série 4: _____ Série 5: _____

Série 6: _____ Série 7 : _____ Série 8: _____ Série 9: _____ Série 10: _____

Série 11: _____ Série 12 : _____ Série 13: _____ Série 14: _____ Série 15: _____

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Você, atleta ou paratleta de natação, está sendo convidado a participar de um estudo intitulado **“ANÁLISE CINEMÁTICA DO DESEMPENHO DE ATLETAS E PARATLETAS DE NATAÇÃO”**. É através das pesquisas que ocorrem os avanços da modalidade, e sua participação é de fundamental importância.

O objetivo desta pesquisa é avaliar parâmetros cinemáticos (descrição do movimento) em análise tridimensional de atletas e paratletas de natação em séries de nado crawl. Serão o máximo de séries que você conseguir realizar.

Caso participe do estudo terá que realizar alguns procedimentos antes e durante o estudo, descritos a seguir:

- Realizar aferição de Medidas antropométricas (determinação de peso, estatura, envergadura e índice de massa corporal). As mensurações serão feitas antes da realização dos testes, pela própria autora da pesquisa, utilizando-se para tais, uma balança mecânica marca Filizola®, um estadiômetro tipo trena e uma fita antropométrica de marca Sanny®. Para todas as aferições os indivíduos se encontrarão em posição ortostática (em pé).
- O participante não deverá realizar nenhum tipo de atividade física intensa nas 24 horas que antecedem os testes.
- Realizar aquecimento específico que constituirá de 600m de nado livre antes da execução do protocolo de teste.
- O participante terá que realizar para o estudo, um teste que compreenderá: simulações máximas de nado em nado crawl (máximo que suportar).

Os procedimentos do teste compreenderão um aquecimento de 600m de nado crawl em baixa intensidade, seguido por séries máximas de 50m de nado crawl com intervalo de 10 segundos entre as séries por número de repetições toleradas. O teste será filmado e fotografado para análise posterior, no entanto as imagens serão utilizadas somente para processamento de dados pelos pesquisadores e não serão divulgados, mantendo a confidencialidade do participante.

Você pode sentir um pouco de desconforto durante a realização do teste, assim como estar participante a certos riscos, tais como:

- sentir exaustão e taquicardia que melhoram após a interrupção do teste
- dores musculares e articulares durante e após a realização do teste

Para participar da pesquisa você deverá comparecer no Complexo Aquático do Centro Universitário Autônomo do Brasil (UNIBRASIL) localizado na Rua Konrad Adenauer, 442 - Tarumã - 82821-020 - Curitiba – PR. O tempo médio estimado de permanência no local para realização do teste é de aproximadamente uma hora por atleta e o horário de realização do teste será no período da manhã (8:00 as 12:00) ou tarde (13:00 as 17:00 hrs) agendado com antecedência.

A pesquisa trará como principais benefícios: a) subsídios para uma melhor prescrição do treinamento pelos técnicos, através do estabelecimento dos estímulos mais relevantes para o aprimoramento do desempenho, melhor entendimento sobre os fatores associados com o mesmo, b) verificar a coordenação entre o movimento dos

membros superiores a fim de expor dados específicos para intervenções sobre assimetrias, c) detectar as alterações do movimento no decorrer do teste.

Os pesquisadores Karini Borges dos Santos (doutoranda em Atividade Física e Esporte) e André L. F. Rodacki (professor do curso de pós-graduação em Educação Física da UFPR), responsáveis pelo estudo, poderão ser contatados no Centro de Estudos do Comportamento Motor (CECOM) da UFPR de segunda a sexta das 8:00 às 12:00 horas e das 13:30 às 17:00 horas ou pelos telefones (41) 9115-8236 e (41) 3360-4333 para esclarecimento de eventuais dúvidas a respeito desta pesquisa. Estão garantidas todas as informações que você queira, antes durante e depois do estudo.

Sua participação neste estudo é voluntária. Você tem a liberdade de recusar participar do estudo, ou se aceitar a participar, retirar seu consentimento a qualquer momento. Este fato não te prejudicará em nenhum tipo de quesito.

Terão acesso às informações relacionadas ao estudo, a autora (Karini Borges dos Santos) e seu orientador (André Luiz Félix Rodacki), no entanto, se qualquer informação for divulgada em relatório ou publicação, isto será feito sob forma codificada, para que a confidencialidade seja mantida.

Seus testes serão gravados, respeitando-se completamente o seu anonimato. Tão logo a pesquisa termine, as fitas serão desgravadas.

Todas as despesas necessárias para a realização da pesquisa **não** serão de responsabilidade do participante e pela sua participação no estudo, você não receberá qualquer valor em dinheiro.

Quando os resultados forem publicados, não aparecerá seu nome e sim um código.

Durante 48 horas antes da realização do teste você não deverá ingerir nenhum tipo de medicamento sem informar antecipadamente a pesquisadora do respectivo trabalho. O uso contínuo de medicamentos que possam interferir no desempenho será considerado um critério de exclusão do participante na pesquisa.

Durante 24 horas antes do teste você deve evitar ingerir substâncias estimulantes como as que possuem cafeína (café e chá), refrigerantes (cola), cacau, substâncias que são utilizados para tirar a fome (inibidores de apetite), anfetaminas (bolinha, arrebite).

Eu, _____ li o texto acima e compreendi a natureza e objetivo do estudo ao qual fui convidado a participar. A explicação que recebi menciona os riscos e benefícios do estudo. Eu entendi que sou livre para interromper a participação no estudo a qualquer momento sem justificar minha decisão. Eu entendi o que não posso fazer antes da realização do teste e sei que qualquer problema relacionado ao estudo será tratado sem custos para mim. Eu concordo voluntariamente em participar deste estudo.

Assinatura do participante

Assinatura da pesquisadora

Assinatura do orientador

Data: ____/____/____